影响世界的

著名文献

自然科学卷

顾问　费孝通

主编　邢贲思　孙尚清　江　平

　　　何祚庥　汤一介

新　华　出　版　社

495795

495795

影响世界的著名文献

自然科学卷

顾问　费孝通
主编　邢贲思
孙尚清
江　平
汤一介
何祚庥

1997.9.
藏书专用章

新　华　出　版　社

图书在版编目(CIP)数据

影响世界的著名文献:自然科学卷/邢贲思等主编.
北京:新华出版社,1997.3
ISBN 7 5011-3213-5

Ⅰ.影… Ⅱ.邢… Ⅲ.①著作-简介-世界②自然科学著作-简介-世界 Ⅳ.G236

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 00969 号

影响世界的著名文献

自然科学卷

顾问 费孝通
主编 邢贲思 孙尚清 江 平
汤一介 何祚庥

*

新华出版社出版发行
(北京宣武门西大街 57 号)
新华书店经销
新华出版社印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 41 印张 插页 6 张 1019 千字
1997 年 1 月第一版 1997 年 1 月北京第一次印刷
ISBN 7-5011-3213-5/D·537
定价:75.00 元

序

1995年至1996年冬春，新华出版社约请了邢贲思、江平、汤一介、何祚庥和当时尚健在的孙尚清等著名学者、专家，共商编辑一套《影响世界的著名文献》。现在，这套5卷本的巨著就要与读者见面了，值得祝贺。

值此世纪之交，我国人民正处在建设有中国特色社会主义事业承前启后、继往开来的重要时期。中国的事情能不能办好，正如小平同志多次指出，关键在人。要提高广大干部和青年一代的思想文化素质，最根本的，是学习马克思列宁主义、毛泽东思想，特别是学习邓小平建设有中国特色社会主义的理论。与此同时，还要弘扬祖国传统文化，吸收外国优秀文化成果。古今中外几千年来的重要文献浩如烟海，广大读者，尤其是身居实际工作岗位的各级干部，从何读起呢？在这一点上，《影响世界的著名文献》作了有益的尝试。

这套书的编者经过反复多次的细心筛选，从哲学、政治、法律、军事、自然科学、社会和经济等七个方面，选编了上自我国春秋时期和古希腊、下迄当代的中外名著35

部（篇）。这些著作都属于人类的优秀文化遗产，对世界历史产生过重大影响，而且有助于我们认识现在和探索未来。他们还为读者着想，对篇幅巨大的著作摘其精萃，对不易懂的古文和典故加了注释，并请专家对每篇著作的时代背景和历史意义作了简介。可以看出，编者做出了相当大的努力，以马克思主义为指导，立足本国，放眼世界，使这一套书具有较高的实用和参考价值。

我希望，《影响世界的著名文献》的出版将有助于促使一批经典名著走出专家学者的书斋课堂，而为广大干部和青年读者所熟悉。

费孝通

1997年2月14日

出版者的话

《影响世界的著名文献》是新华出版社献给读者的一份厚礼。这套文化精品，对当今和未来具有适用、借鉴和参考价值。《文献》辑入了35部(篇)名著，荟萃了古今中外社会科学和自然科学的精华。这些著作具有深邃的洞察力和深刻的思想性，反映了数十位思想家寻求真理的足迹和他们对人类社会和自然界不懈探索的成果。他们卓越的发现和理论创造曾不同程度地改变了人类的社会生活，而且其影响超越国界，超越时代。《文献》概略展示的人类精神财富为我国读者特别是干部和青年一代拓展视野、提高文化素质、培养人才提供了阶梯。

我们在编辑工作中，注意了以下几个方面：一是内容的适用性和参考性。《文献》选目以近现代为主，对不同观点的代表作画龙点睛地予以辑录。二是便于一般读者阅览的导引性。每部书首有简要的内容介绍和作者简介。对中国古典文献《道德经》、《论语》等加强了注释。篇幅巨大的著作，如《资本论》选录了其理论体系的基本框架。其三是阅读与研究的便捷性。《文献》按学科分卷，可系统扼要地获取广博知识，也可根据不同需要和兴趣分卷购阅。

《影响世界的著名文献》由于有我国学术界前辈费孝通同志担任顾问，著名学者邢贲思、孙尚清、江平、汤一介、何祚庥鼎力负责主编工作，龚育之、魏宏森、叶笃庄、牟以石、刘善继、张耿光等50多位专家教授给予了积极的帮助，使我们较为顺利地解决了选目、

编辑、翻译、注释、简介和版权等方面的困难。选目过程中，北京图书馆熊道光和罗霞同志多次提供书目资料和名著样本，为我们打下选目的基础。在版权方面，商务印书馆等兄弟出版单位也给予了有力的合作。《文献》经过两年的努力，现在能够同读者见面，是与有关单位和学者热情的投入分不开的。在此表示我们深深的谢意。

用前人和当代人创造的精神财富丰富人们的头脑，启迪思考，起到“洋为中用”、“古为今用”，推进我国建设有中国特色社会主义进程的效果，这是我们出版本文献的初衷。但是，《文献》所收入的名著因其时代的局限性，难免在思想内容和语言表达方面有不尽人意之处，相信读者会用马克思主义的辩证唯物主义与历史唯物主义的观点和实事求是的科学态度去研读这些作品，取其精华，剔其糟粕，使之起“他山之石”的作用。

《影响世界的著名文献》按学科分为哲学、经济、自然科学、政治・社会、法律・军事五卷，并按作品诞生时间的先后顺序编排。节选的著作保持原章节序号和原注释，以便读者查阅。

本书涉及众多的领域和学科，囿于我们的水平和经验，加上版权与财力等因素的制约，有的名著未能入选；编校印制也难免存在不妥或错漏之处，祈望各方专家和广大读者指正。

《影响世界的著名文献》中绝大多数作品已获得版权许可。个别作品因多方查询仍找不到译者及其继承人的下落，仅获得原出版单位的证明或认可。我们将继续查找有关著作权人，以保证其应享有的权利。

新 华 出 版 社

1997 年 1 月

文 献 编 委

邱永生　许　邦
张首第　孙维熙
程克雄　赵　奇
韩舞凤　蒋茂生
戴阿弟

本卷执行编辑

戴阿弟
蒋茂生
阎秋华
苏汉卿

影响世界的著名文献

自然科学卷

目　次

人类的由来及性选择　〔英国〕达尔文

简　介 …………………………………………………… (3)
第二版序言 ……………………………………………… (5)
绪　论 …………………………………………………… (7)
第一部分　人类的由来或起源
第一章　人类起源于某一低等生物类型的证据 … (12)
第二章　人类自某一低等类型发展的方式 ……… (36)
第三章　人类同次级动物的心理能力比较 ……… (80)
第四章　人类同次级动物的心理能力比较(续) … (117)
第五章　智能和道德官能在原始时代和文明时代的发展 …………………………… (152)
第六章　人类的亲缘和系谱 ……………………… (174)
第七章　论人类种族 ……………………………… (197)
第二部分　性选择
第八章　性选择原理 ……………………………… (246)
第九章　动物界低等纲的第二性征 ……………… (286)
第十章　昆虫类的第二性征 ……………………… (303)

第十一章 昆虫类的第二性征(续)
——鳞翅目(蝶类和蛾类) ………………（341）
第十二章 鱼类、两栖类和爬行类的第二性征……（367）
第十三章 鸟类的第二性征 ………………（399）
第十四章 鸟类的第二性征(续) ………………（449）
第十五章 鸟类的第二性征(续二) ………………（495）
第十六章 鸟类的第二性征(续完) ………………（517）
第十七章 哺乳类的第二性征 ………………（557）
第十八章 哺乳类的第二性征(续) ………………（585）
第三部分 人类的性选择及本书的结论
第十九章 人类的第二性征 ………………（620）
第二十章 人类的第二性征(续) ………………（652）
第二十一章 全书提要和结论 ………………（676）
校订后记 ………………（690）

相对论 爱因斯坦

简 介 ………………（695）
论动体的电动力学 ………………（697）
一 运动学部分 ………………（698）
二 电动力学部分 ………………（713）
广义相对论的基础 ………………（729）
A 对相对性公设的原则性考查 ………………（730）
B 建立广义协变方程的数学工具 ………………（739）
C 引力场理论 ………………（762）
D “物质”现象过程 ………………（771）
E ………………（777）

控制论　〔美国〕维纳

简　介 …………………………………………………… (787)
《控制论》中译本和它的译者"郝季仁" …………………… (790)
中译本第二版前言 ………………………………………… (795)
译者序 …………………………………………………… (796)
原著第二版序言 …………………………………………… (804)
第一部分 (初　版　1948)
导　言 …………………………………………………… (816)
第一章　牛顿时间和柏格森时间 ………………………… (848)
第二章　群和统计力学 …………………………………… (864)
第三章　时间序列,信息和通讯 ………………………… (881)
第四章　反馈和振荡 ……………………………………… (921)
第五章　计算机和神经系统 ……………………………… (944)
第六章　完形和普遍观念 ………………………………… (962)
第七章　控制论和精神病理学 …………………………… (973)
第八章　信息、语言和社会 ……………………………… (985)
第二部分 (补充的几章　1961)
第九章　关于学习和自生殖机 …………………………… (998)
第十章　脑电波与自行组织系统 ………………………… (1011)

一般系统论　〔奥地利〕贝塔朗菲

简　介 …………………………………………………… (1037)
译　序 …………………………………………………… (1040)
再版译后记 ……………………………………………… (1043)
前　言 …………………………………………………… (1044)

修订版序言 …………………………………………… (1047)

第一章 导 论

无处不在的系统 ………………………………… (1054)

系统论的历史 …………………………………… (1061)

系统论的趋势 …………………………………… (1068)

第二章 一般系统论的含义

一般系统论的探索 ……………………………… (1081)

一般系统论的宗旨 ……………………………… (1087)

封闭系统与开放系统:传统物理学的局限性……… (1089)

信息和熵 ………………………………………… (1091)

因果性和目的论 ………………………………… (1094)

什么是组织 ……………………………………… (1096)

一般系统论和科学的统一 ……………………… (1098)

教育方面的一般系统论:科学通才的培养………… (1099)

科学和社会 ……………………………………… (1100)

最高格言:人是个体……………………………… (1102)

第三章 系统的若干概念及其初步的数学描述

系统概念 ………………………………………… (1103)

生长 ……………………………………………… (1109)

竞争 ……………………………………………… (1111)

整体性、总和、机构化、中心化…………………… (1114)

果决性 …………………………………………… (1122)

果决性的类型 …………………………………… (1125)

科学中的同型性 ………………………………… (1127)

科学的统一性 …………………………………… (1132)

第四章 一般系统论的进展

系统科学的发展途径和目标 …………………… (1136)

研究一般系统的方法 …………………………… (1141)

一般系统论的推进 …………………………………… (1145)
第五章　看作物理系统的有机体
有机体是开放系统 …………………………………… (1165)
开放化学系统的一般特征 ………………………… (1169)
异因同果性 ……………………………………………… (1176)
生物学上的应用 ……………………………………… (1178)
第六章　开放系统的模型
生命机器论及其局限性 …………………………… (1183)
开放系统的一些特征 ……………………………… (1185)
生物学中的开放系统 ……………………………… (1189)
开放系统和控制论 ………………………………… (1194)
未解决的问题 ………………………………………… (1195)
结论 ………………………………………………………… (1198)
第七章　生物学中若干系统论问题
开放系统和稳态 …………………………………… (1200)
反馈和自动调节动态平衡 ………………………… (1204)
异速生长和表面积定律 …………………………… (1207)
动物生长理论 ………………………………………… (1216)
第八章　人类科学中的系统概念
机体论革命 ……………………………………………… (1231)
当代思潮中的表象 ………………………………… (1233)
系统——理论上重新定向 ………………………… (1237)
社会科学中的系统 ………………………………… (1239)
系统论的历史观 ……………………………………… (1242)
系统论的未来观 ……………………………………… (1248)
第九章　心理学和精神病学的一般系统论
现代心理学的窘境 ………………………………… (1250)
心理病理学的系统概念 …………………………… (1253)

结论 …………………………………………………… (1264)
第十章　范畴的相对性
霍弗的假说 ……………………………………………… (1267)
范畴的生物学相对性 ………………………………… (1272)
范畴的文化相对性 …………………………………… (1276)
透视论的观点 ………………………………………… (1283)
附录Ⅰ　关于数学系统论发展的笔记 ……………… (1293)
附录Ⅱ　科学的意义和科学的统一 ………………… (1297)

人类的由来及性选择

〔英国〕Ch. 达尔文　著

叶笃庄　杨习之　译

曹　骥　校阅

简　　介

《人类的由来及性选择》是英国伟大的科学家达尔文继《物种起源》之后又一部影响巨大的著作。这一伟大著作提出了人类起源及性选择的理论，进一步充实了进化学说的内容。1974 年英国前首相希思访华时，曾将此书的英文版赠送给毛泽东同志。

达尔文(Charles Robert Darwin，1809—1882)是英国的博物学家，进化论的奠基人。他从小喜欢采集动植物标本，把大量时间用于钻研自然科学，并对昆虫研究产生了浓厚的兴趣。1831 年，他以博物学家的身份，随比格尔号探险舰进行了 5 年的环球旅行。他登山涉水，入丛林，过草地，采集标本，挖掘化石，积累了极其丰富的第一手资料，并在此基础上，经过长期研究，反复认识，终于摈弃了长达数千年的"上帝创造万物"的说教，形成了生物进化的思想。1859 年出版了《物种起源》，他提出的以自然选择、适者生存为基础的进化学说，不仅在学术思想上摧毁了各种唯心的神造论、目的论和物种不变论，而且震动了全世界，给当时的宗教统治势力以一次沉重打击。

1871 年发表的《人类的由来及性选择》，进一步发展了进化学说，提出了人类进化的科学理论。他以大量事实和论据阐述了人类的由来和进化历程，并对性选择问题做了详细的论述，认为性选择在生物界的历史中起重要的作用。他在书中考察了三个方面的问题：第一，人类是否像其它物种那样，是由某个既往存在的类型传

下来的；第二，人类发展的方式；第三，所谓人类种族彼此差异的价值。同时将其内容分为三个部分论述：第一部分，人类的由来，说明了人类起源于某一低等生物的证据和人类同次级动物的心理能力比较，人类的亲缘关系和其系谱等；第二部分，性选择，说明性选择的原理及动物界的第二性征；第三部分，说明人类的性选择及本书的主要结论，即：人类起源于某种低等的类型——猿类。

达尔文的进化学说是人类对生物界和对人类自身认识的伟大成就，它不仅在推动现代生物学的进展方面起巨大作用，而且奠定了行为学的基础，对心理学做出了贡献，对社会科学的进步也产生重大影响。马克思、恩格斯、列宁对达尔文以及他的科学著作给予过很高的评价。恩格斯认为：达尔文的进化学说是19世纪自然科学三大发现（能量守恒和转换定律、细胞学说、进化论）之一。

芮　文

第二版序言

本书第一版自 1871 年问世之后，连续重印数次，于是我得以进行了几处重要的改正；现在，更多的时光流逝过去了，我曾尽力从本书所经历的严峻考验中吸取教益，并且对于我认为是正确的批评全部加以利用。我还非常感激大量和我通讯的人，他们提出的新事实和意见之多实足惊人。这些事实和意见的数量如此之多，以致我只能采用其中比较重要者；关于这些，以及比较重要的改正，我将附列一表。新加了一些插图，有四幅旧图代以更好的新图，这些都是伍德先生写生的。我必须特别唤起读者注意：关于人类和高等猿类的脑部之间的差异，有些观察材料系得自赫胥黎教授，对此谨表谢忱。

我愿借此机会表明，我的批评家们常常设想我把身体构造和心理能力的一切变化完全归因于对那种所谓自发变异的自然选择；恰恰相反，甚至我在《物种起源》第一版中已经明确谈到，关于身体和心理，重大的影响必须归于使用和不使用的遗传效果。我还把一定的变异量归因于变化了的生活条件的直接而长期的作用。偶尔发生的构造返祖也起了一份作用；千万不要忘记我所谓的“相关”生长，其意义为：体制的各个部分在某种未知的方式下而彼此密切关连，以致当某一部分发生变异时，另一部分也跟着发生变异；如果某一部分的变异由于选择而被积累起来，其他部分就要发生改变。再者，还有几位评论家说，当我发现人类身体构造的许多

细小部分不能用自然选择来解释时，我便发明了性选择；然而我在《物种起源》第一版中对这一原理已经做了相当清楚的概述，我在那里已经提到，这一原理也可应用于人类。本书以充分的篇幅讨论了性选择这个问题，这只是因为我在这里第一次得到了这样机会。给我印象最深的是，许多对性选择的批评是半赞同的，这和对自然选择的最初批评颇为相似；例如，这些批评家们说，性选择只能解释少数的细小构造，而不能应用于我所运用的那样大的范围。我对性选择力量的信念还是坚定的；但此后也许会发现我的结论有错误，这是可能的。当博物学者们熟悉了性选择的概念之后，我相信它被接受的部分当会增多；若干有才能的专家们已经充分赞同这一原理了。

1874 年 9 月于达温，贝克纳姆，肯特。

第一版：1871 年 2 月 24 日。
第二版：1874 年 9 月。

绪　论

对本书的写作过程加以简短说明，将会使其主旨得到最好的理解。多年以来，关于人类的起源或由来，我搜聚了一些资料，却没有就这个问题发表著作的任何意图，毋宁说已决定不予发表，因为我考虑到，我如果发表此项著作，只会增添一些偏见来反对我的观点。在我的《物种起源》第一版中已指明，这一著作将使“人类的起源及其历史明白无误地显示出来”，我觉得指明这一点似乎就足可以说明问题了；这意味着，关于人类出现于地球之上的方式，人类同其他生物必定一齐被包括在某种一般结论之中。现在情况已完全改观了。一位像卡尔·沃格特那样的博物学家，以日内瓦国立研究院院长的身份，竟敢在其演说（1869 年）中大胆表示，“至少在欧洲，恐怕已无一人仍主张物种是独立创造的了”，显然，至少是大多数博物学者必须承认，物种乃是其他物种的变异了的后裔；年青而朝气蓬勃的博物学者们尤其如此。多数人已承认自然选择的作用，虽然有些人极力主张我过高地估计了它的重要性，这是否公正，未来必会做出定论。在自然科学界年高可敬的诸位领袖人物中，不幸还有许多人依然以各种方式反对进化论。

进化观点现已为大多数博物学者们所采纳，而且正如在一切其他场合中那样，最终亦将为科学界以外的人士所遵循，因此，我才把有关资料编在一起，以便看看在我已往著作中所得出的一般结论，在多大程度上可以适用于人类。因为我从来没有审慎地把这

些观点应用于单独一个物种，所以这一工作似乎更加需要了。当我们把注意力局限于任何一种生物类型时，我们便丧失了把整个生物类群连结在一起的亲缘关系性质所导出的重大论据，如生物过去和现在的地理分布，生物在地质上的演替。所余者，还有一个物种的同源构造、胚胎发育以及残迹器官可供研究，无论其为人类或任何其他物种，我们都可把注意力对准这些方面；不过在我看来，这几大类事实提供了充分而确定的证据。以支持逐渐进化的原理。然而，来自其他论据的支持，也应时刻留心。

本书的唯一目的在于考察：第一，人类是否像每一个其他物种那样，是由某个既往存在的类型传下来的；第二，人类发展的方式；第三，所谓人类种族彼此差异的价值。由于我的考察仅限于这几点，所以无需详细描述若干人类种族之间的差异——这是一个巨大的课题，已在许多有价值的著作中进行了充分的讨论。人类的高度悠久性最近已为许多卓越人士的工作所证实了，其中以布歇·德·佩塞为始；对于理解人类的起源，这是必不可少的基础。所以，我认为这一结论已经确立，并且奉劝读者们阅读查理士·莱伊尔爵士、约翰·卢伯克爵士以及其他人士的令人钦佩的论著。至于人类和类人猿之间的差异量，我也没有必要再加以说明，因为，最有能力的评论家们认为，赫胥黎教授对此已经无可争辩地加以阐明了，在每一个可见的性状上，人类与高等猿类之间的差异小于高等猿类与同为灵长目的低等成员之间的差异。

关于人类，本书简直没有任何崭新的事实，但是，当我写成一个初稿之后，我所得出的结论对我来说还是有趣的，我想它也许会使其他人感到兴趣。常常有人自信地断言，人类的起源决不可知；但是愚昧无知往往要比渊博学识更会招致自信；正是那些所知甚少的人们，而不是那些知识渊博的人们，才会如此肯定地断言这个或那个问题决非科学所能解决。人类和其他物种都是某一个古远的、低等的而且绝灭的类型的共同后裔，这一结论在任何程度上都

不是新的了。拉马克很久以前就得出了这一结论,晚近又为几位卓越的博物学者和哲学家所坚持;例如,华莱士、赫胥黎、莱伊尔、沃格特、卢伯克、比希纳、罗尔等①,特别是赫克尔。最后这位博物学者,除了他的巨著《普通形态学》(1866)外,最近又发表了《自然创造史》(1868 年初版,1870 年再版),他在这一著作中充分讨论了人类的系谱。如果这一著作发表在本书脱稿之前,我大概就此搁笔了。我发现,几乎所有我得出的结论,都为这位博物学者所证实,他的学识在许多方面都比我渊博得多。举凡我根据赫克尔教授的著作所补充的任何事实和观点,均在本文中指明其出处;其他叙述则一如本书原稿的本来面貌,间或在脚注中注明他的著作,以证实比较含糊的或有趣的各点。

多年来我一直觉得非常可能的是,性选择在使人类种族分化上起了重要作用;但在我的《物种起源》(第一版,199 页)中,仅仅暗示这一信念,当时已使我感到了满足。当我开始把这一观点应用于人类时,我发现对整个性选择问题进行充分详细的探讨② 是必不可少的。因此,本书探讨性选择的第二部分,同第一部分相比,便显得过于冗长;但这也是无法避免的。

---

① 前几位作者的著作如此驰名,以致我无需再举其书名;但后几位的著作在英国却不甚为人所知,我愿把这些书名提一下:《达尔文学说六讲》(Sechs Vorlesungen über die Darwin'sche Theorie),比希纳著,1868 年再版;1869 年译为法文,书名为"Conférences sur la Theórie Darwinienne";《由达尔文学说所显示的人类》(Der Mensch,im Lichte der Darwin'sche Lehre),冯·罗尔博士著,1865 年。我不想把那些在这个问题上和我站在一边的所有作者一一举出。例如,还有卡纳斯垂尼(G. Canestrini)发表过的一篇很奇妙的论文,讨论同人类起源有关的残迹性状(原载《摩德纳自然科学协会年报》,Annuario della Soc. d. Nar.,Modena,1867,第 81 页)。巴拉哥(F. Barrago)博士用意大利文发表过另一篇著作,名为《人类既是按照上帝的形象造成的,也是按照猿的形象造成的》(Man,made in the image of God,was also made in the image of ape)。

② 在本书最初问世之前,赫克尔教授是唯一的一位作者对性选择进行了讨论,在《物种起源》出版后,他就看到了它的充分重要性;他在各种著作中以非常精明的方式处理了这一问题。

我曾打算在本书中附加一篇有关人类和动物表达各种感情的文章。许多年前查理斯·贝尔爵士的一本可称赞的著作唤起了我对这个问题的注意。这位杰出的解剖学者主张，人类被赋予的某些肌肉专为人类的表情之用。由于这一观点显然地反对人类是从某一个其他低等类型传下来的信念，因此我有必要对这个问题进行讨论。我还愿查明，不同人类种族在多大程度上是以同样方式来表情的。但是由于本书的篇幅有限，我以为把这篇文章留待他日单独发表为宜①。

① 于1872年出版，名为《人和动物的感情表达》(Expression of the Emotions in Man and Animals)。——译注

第 一 部 分

人类的由来或起源

第一章

人类起源于某一低等生物类型的证据

有关人类起源证据的性质——人类和次级动物的同源构造——有关一致性的各点——发育——残迹(退化)构造、肌肉、感觉器官、毛发、骨骼、生殖器官等——这三大类事实同人类起源的关系

如果一个人想要决定人类是否为某一既往生存类型的变异了的后裔,他最初大概要问,人类在身体构造和心理官能方面是否变异,哪怕是轻微的变异;倘如此,则这等变异是否按照普遍适用于次级动物的法则遗传给他的后代。还有,就我们贫乏知识所能判断的来说,这等变异是否像在其他生物的场合中那样,乃是同样的一般原因的结果,并且受同样的一般法则所支配;例如,受相关作用,使用和不使用的遗传效果等等法则所支配?作为发育受到抑制、器官重复等等的结果,人类是否会变成同样的怪相,并且人类的任何畸形是否表现了返归某一先前的、古远的构造形式?自然还可以这样问,人类是否像如此众多的其他动物那样,也产生彼此仅有微小差异的变种和亚族,或者产生差异如此重大的族而必须把它们分类为可疑的物种?这等种族如何分布于全世界;而且,当他们杂交时,他们在第一代和以后各代彼此发生作用吗?此外,还可追问其他各点。

追问者其次将问到重要之点，即，人类是否以如此迅速的速度增加，以致不时引起剧烈的生存斗争；结果导致无论身体或心理方面的有益变异被保存下来了，而有害的变异被淘汰了。人类的族或种无论用哪个名词都可以，是否彼此侵犯，相互取而代之，因而有些最终归于绝灭？我们将会看到，所有这些问题一定可以按照对次级动物的同样方式得到肯定的回答；就大多数问题来说，的确显然如此。但对刚才所谈到的几个需要考虑的问题暂不予以讨论，可能是方便的；我们先看一看，人类的身体构造在多大程度上或多或少明确地显示了一些痕迹以说明他来自某一低等类型。在以后数章，将对人类的心理能力在同低类动物的心理能力的比较下加以考察。

人类的身体构造

众所周知，人类是按照其他哺乳动物同样的总体形式或模型构成的。人类骨骼中的一切骨可以同猴的、蝙蝠的或海豹的对应骨相比拟。人类的肌肉、神经、血管以及内脏亦复如此。正如赫胥黎和其他解剖学者所阐明的，在一切器官中最为重要的人脑也遵循同一法则。比肖夫①是一位站在敌对方面的见证人，连他都承认人类的每一个主要的脑裂纹和脑褶都同猩猩的相似；但他却接着说，它们的脑在任何发育时期中都不完全一致；当然也不能期望它们完全一致，否则它们的心理能力就要一样了。于尔皮安②说，“人脑

① 《人类大脑的裂纹》(Grosshirnwindungen des Menschen)，1868年，96页。这位作者的以及格拉条雷(Gratioler)和艾比(Aeby)的关于脑的结论，均经赫胥黎教授讨论过，见本版序言中提及的那篇附录。

② 《生理学讲义》(Lec sur la phys)，1866年，890页，达利(M. Dally)在《灵长目与进化论》(L'ordre des Primates et la Transformisme，1868，p. 29)中加以引用。

和高等猿类的脑的差别极其轻微。我们对这种关系不应有错觉。就脑部的解剖性状来看，人类之比类人猿，不但较近于类人猿之比其他哺乳动物，而且较近于类人猿之比其他猿类，如绿背猿和猕猴。”但是，在这里进一步详细地指出人类在脑的构造和身体其他一切部分同高等哺乳动物的一致性，则是多余的了。

可是，对于构造没有直接或明显关系的少数几点加以详细说明，还是值得的；这种一致性或彼此关系借此会得到很好阐明。

人类容易从次级动物染上某些疾病，如恐水病①、天花、鼻疽病、梅毒、霍乱、疱疹等②，而且容易把这些病传给它们；这一事实证明了它们的组织和血液既在细微构造上也在成份上都密切相似③，这比在最优良的显微镜下或借助于化学分析来比较它们还要明显得多。猴类常患许多和我们一样的非传染性的疾病；例如伦格尔④ 曾在巴拉圭卷尾猴的原产地对它进行过仔细的观察，它容易患粘膜炎，具有通常的症状，如经常复发，就会导致肺结核病。这种猴还患中风、肠炎和白内障。幼猴在乳齿脱落时常死于热病。药物对它们产生的效果，同对我们一样。许多种类的猴对茶、咖啡、酒都有强烈的嗜好；我自己亲眼见到，它们还吸烟取乐⑤。布雷姆断

① 即狂犬病。——译注

② 林赛(W. L. Lindsay)博士在《心理学杂志》(*Journat of Mental Science*)，1871年7月；以及《爱丁堡兽医评论》，(*Edinburgh Ver. Review*)，1858年7月，相当详细地讨论了这个问题。

③ 一位评论家非常激烈而轻蔑地批评了我在这里所说的《不列颠每季评论》(*British Quarterly Review*)，1871年10月1日，第472页)；但我并没有用“相等”这个字眼，我看不出我有多大错误。在我看来，两种不同动物因感染同样疾病而产生同样的或密切相似的结果，同对两种不同液体用同样化学试剂所进行的测定，是非常近似的。

④ 《巴拉圭哺乳动物志》(Naturgeschichte der Säugethiere von Paraguay)，1830年，50页。

⑤ 有些在等级上低得多的动物也有同样的嗜好。尼科尔斯(A. Nicols)先生告诉我说，他在澳大利亚的昆士兰养了三支灰色袋兔(*Phaseolarctus cinereus*)，一点也没有教过它们，就对朗姆酒和吸烟有强烈的嗜好。

言，东北非的土人把装有浓啤酒的器皿放在野外，使野狒狒喝醉以捕捉它们。他曾看到他自己圈养的几只喝醉的狒狒，他对它们的醉态和怪相做过引人发笑的描述。醉后翌晨，它们非常易怒而忧郁；用双手抱住疼痛的脑袋，作最可怜的表情；当给它们啤酒或果子酒时，它们就厌恶地躲开，但对柠檬汁却喝得津津有味①。一只美洲的蛛猴，当喝醉了白兰地酒之后，就永远不再碰它，这样，它就比许多人聪明了。这些琐事证明了人类和猴类的味觉神经是多么相似，而且他们的全部神经系统所受到的影响又多么相似。

人类会感染内脏的寄生虫，时常因此致死；并且受到外部的寄生虫的侵扰，所有这等寄生虫同感染其他哺乳动物的寄生虫都属于同属或同科，至于疥癣虫，则属于同种②。人类有如其他哺乳动物、鸟类甚至昆虫那样，受一种神秘的法则所支配③，这一法则使某些正常过程，如妊娠、成熟以及各种疾病的持续，均按月经期进行。人类的创伤按照同样的愈合过程得到恢复；人类截肢后的残余部分，特别是在胚胎早期，也像在低等动物的场合中那样，有时具有某种再生的能力④。

像物种繁殖这个最重要机能的全部过程，从雄者的最初求偶

---

① 布雷姆，《动物生活》(Theirleben)，第1卷，1864年，75、86页。关于美洲蛛猴(*Ateles*)，参阅105页。关于其他相似记载，见25、107页。

② 林赛博士，《爱丁堡兽医评论》，1858年7月，13页。

③ 关于昆虫，参阅莱科克(Laycock)博士的《生命周期性的一般法则》，原载《不列颠学会会报》，1842年。麦卡洛克(Macculloch)曾见到一只狗患间日疟，见《西利曼北美科学杂志》(*Silliman's North American lournal of Science*)，17卷，305页。以后我还要重谈这个问题。

④ 关于这一点，我曾在我著的《动物和植物在家养下的变异》(Variation of Animals and Plants under Domestication)第2卷中第15页举出过证据，此外还可补充更多的证据。

行为[1]到幼仔的出生和哺育，在所有哺乳动物中都明显一样。猴在初生时不能自助的情况几乎同我们的婴儿一样；在某些属中，猴仔在外貌上完全不同于成猴，犹如我们的子女不同于他们的充分成熟的父母一样[2]。有些作者极力主张，作为一种重要的差别，人类幼儿的成熟期要比任何其他动物迟得多；但是，如果我们注意看一看居住在热带地方的人类的种族，其差别就不大了，因为，猩猩据信到10至15岁时才达到成年[3]。男人同女人在身材大小、体力、体毛多少等方面以及在精神方面都有差别，许多哺乳动物的两性也是如此。因此，人类同高等动物、特别是同类人猿在一般构造上、在组织的细小构造上、在化学成分上以及在体质上的一致性是极其密切的。

胚胎发育

人是从一个卵发育成的，卵的直径约为一英寸的1/125，它在任何方面同其他动物的卵都没有差别。人类胚胎在最早时期同脊椎动物界其他成员的胚胎几乎无法区分。此时动脉延伸为弓形分枝，好像要把血液输送到高等脊椎动物现今不具有的鳃中，虽然在他们的颈部两侧还留有鳃裂（图1，*f*，*g*），标志着它们先前的位置。

① 许多种类的雄性狒狒确能分别人类的男女，最初凭嗅觉，其次乃凭外貌。尤雅特（Youatt）先生在伦敦动物园长期从事兽医工作，为最细心、最敏锐的观察家，他曾为我证实此事，动物园的其他饲养员和管理员的说法也相同。安德鲁·史密斯和布雷姆说，狒狒也能如此。权威人士居维叶也多次谈过此事。我以为人类和猿类所共有的现象，其恶劣程度莫有过于此者。有人说，狒狒见到妇女就发狂，但并非见到一切妇女都如此，它能自众人中识别年幼的妇女，以奇特的声音和容态召唤之。

② 这是小圣伊莱尔（Geoffroy Saint-Hilaire）和弗·居维叶（F. Cuvier）对犬面狒狒（鬣狒）和类人猿所做的论述，见《哺乳动物志》（Hist. Nat. des Mammiféres），第1卷，1824年。

③ 赫胥黎，《人类在自然界中的位置》（Man's Place in Nature），1863年，34页。

在稍晚时期，当四肢发育时，正如杰出的冯·贝尔所指出的，蜥蜴类和哺乳动物的脚，鸟类的翅膀和脚，以及人的手和脚，都是由同一个基本形式发生的。赫胥黎教授说①，“在相当晚的发育阶段，人类幼儿才同幼猿有显著的差别，而猿在发育中同狗的差别程度，正如人在发育中同狗的差别程度一样大。看来这一断言好像要令人一惊，但它的真实性是可以证明的。”

由于某些读者可能从来没有看过胚胎图，所以我刊登了一幅一个人的和一只狗的胚胎图，约在同一早期发育阶段，这幅图是从两部无疑正确的著作② 中仔细复制的。

当举出了如此高水平的权威人士所做的以上叙述之后，我再借用别人的详细材料来阐明人类的胚胎密切类似于其他哺乳动物的胚胎，就是多余的了。然而却不妨补充说明，人类的胚胎同某些低等动物的成虫在构造的种种方面同样也是类似的。例如，心脏最初仅是一个简单的搏动管；排泄物由一个泄殖道被排出；尾骨突出像一条真尾，“相当地延伸到残迹腿之外”③。在所有呼吸空气的脊椎动物胚胎中，被称为吴耳夫氏体的某些腺同成熟鱼类的肾相当，并且像后者那样活动④。可以观察到，甚至在较晚的胚胎时期人类和次级动物也有若干显著的相似性。比肖夫说，7 个月整的人类胎

① 《人类在自然界中的位置》，1863 年，67 页。

② 人的胚胎（上图）采自埃克（Ecker）的《生理图解》（Icones Phys.），1851—1859 年，表Ⅱ，图 2。这个胚胎的长度为 0.833 英寸，所以绘图放大得很多。狗的胚胎图采自比肖夫的《狗卵发育史》（Entwicklungsgeschichte des Hunde Eies），1845 年，表Ⅺ，图 42B。这幅图放大 5 倍，胎龄 25 天。两幅图中内脏皆略去，子宫附属物亦从略。我所以刊登这两幅图，是受赫胥黎教授的《人类在自然界中的位置》一书所启发。赫克尔在他的《自然创造史》中也登过相似的图。

③ 怀曼（Wyman）教授，《美国科学院院报》（*proc. of American Acad. of Science*）第 4 卷，1860 年，17 页。

④ 欧文（Owen），《脊椎动物解剖学》（Anatomy of Vertebrates）第 1 卷，533 页。

儿的脑旋圈同成年狒狒的处于同样的发育阶段[1]。正如欧文[2]教授所指出的，"大脚趾当站立或行走时形成一个支点，这在人类构造中恐怕是一个最显著的特性"；但是在约一英寸长的胚胎中，怀曼[3]发现"大脚趾较其余脚趾都短；不是同其余脚趾平行，而是从脚的一侧斜着伸出，这样，它就与四手目动物这一部分的成年状态相一致了。"我用赫胥黎[4]的话来做结束，他问道：人类是按照不同于狗、鸟、蛙或鱼的途径发生的吗？然后他说，"立刻可以做出肯定的回答；毫无问题，人类的起源方式以及他们的早期发育阶段同在等级上直接处于其下的动物是完全相同的；毫无疑问，人类之与猿类在这等关系上远比猿类之与狗要近得多。"

残迹器官

这个问题虽然在本质上不及上述两个问题重要，但由于几点理由，还要在这里更充分地予以讨论[5]。我们举不出任何一种动物，它们的某些器官不是处于残迹状态的；人类也不例外。必须把残迹器官同新生器官区别开来；虽然在某些场合中把它们区别开是不容易的。残迹器官要么是绝对无用的，如四足动物雄者的乳房或反刍动物的永远不会穿出齿龈的切齿；要么就是对其现今所有

---

① 《关于人类的大部分脑旋图》(Die Grosshirnwindungen des Menschen)，1868年，95页。

② 《脊椎动物解剖学》，第2卷，553页。

③ 《博物学会会刊》，(*proc. Soc. Nat. Hist.*)，波士顿，1863年，第9卷，185页。

④ 《人类在自然界中的位置》，65页。

⑤ 当我读到卡内斯垂尼(Casnestrini)的一篇有价值的论文——《原始人类的残迹器官的特征》(Caratteri rudimentali in ordine all'origine del-J'uomo)，原载《摩德纳自然科学协会年报》(*Annuario della Soc. d. Nat. Modena*)，1867，81页——之前，我已经写完了这一章的草稿；我从此文中受益颇多。赫克尔在《普通形态学》和《自然创造史》二书中以"无目的论"(Dysteleology)的标题对整个这个问题进行了可称道的讨论。

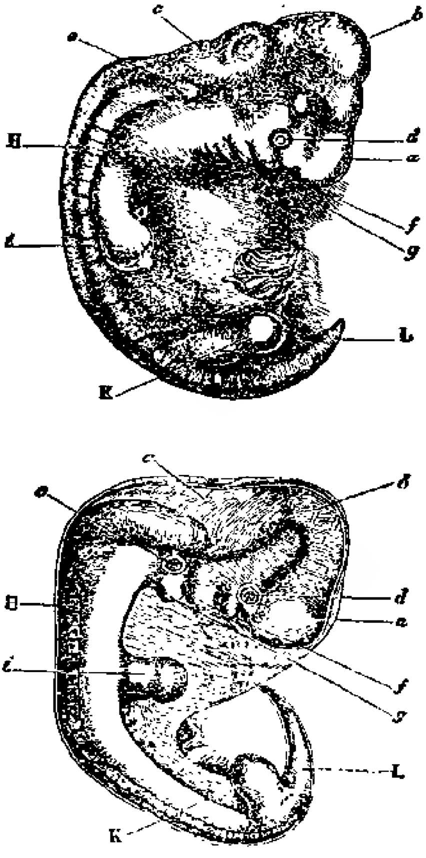


图 1　上图：人的胚胎

下图：狗的胚胎

a. 前脑：大脑半球等；*b*. 中脑：四叠体；*c*. 后脑：小脑，延髓；*d*. 眼；*e*. 耳；*f*. 第一鳃弓；*g*. 第二鳃弓；H. 在发育过程中的脊椎和肌肉；i. 前肢；K. 后肢；L. 尾或尾骨。

者仅有如此微小的作用，以致我们无法设想它们是在现今生活条

件下发育出来的。处于后一状态的器官并不是严格残迹的，但有趋于这个方面的倾向。另一方面，新生器官虽然不是充分发育的，对其所有者却是高度有作用的，面且能够进一步向前发展。残迹器官变异显著；关于这一点，可以部分地得到理解，因为它们无用，或近于无用，所以不再受自然选择所支配。它们往往完全受到抑制。当这种情形发生时，它们还是容易通过返祖而偶尔重现——这是一个十分值得注意的情况。

致使器官成为残迹的主要动因，似乎是由于在这个器官被主要使用的那个生命阶段(这一般是在成熟期)面不使用它了，同时还由于在相应的生命阶段的遗传。“不使用”这个名词不仅同肌肉活动的减少有关，而且包括血液流入某一部分或器官的减少在内，后一情形是由于压力交替的较少或者由于其习惯生活动以任何方式变得较小所致。然而，在某一性别中表现为正常的那些器官，在另一性别中却可能成为残迹的；这等残迹器官，像我们以后将要看到的那样，常常以不同于这里谈到的那些残迹器官的发生方式而发生的。在某些情况中，器官是由于自然选择而被缩小的，因为由于生活习性改变，它们变得对物种有害了。缩小的过程大概还常常借助于生长补偿和生长经济这两项原理；但是，当不使用对器官的缩小完成了所有作用之后，而且当生长经济所完成的节约作用很小时[①]，器官缩小的最后诸阶段是难于理解的。在已经成为无用的而且大大缩小了的一个部分最后地、完全地受到抑制的情况下，如果生长补偿或生长经济都不能发生作用，这大概只有借助于泛生论的假说才可以得到理解。但是，关于残迹器官的整个主题，我在以前的几种著作中已经讨论过了，而且举出过例证[②]，在这里我无

① 莫利(Murie)和米伐特(Mivart) 位先生对这个问题做过一些很好的评论，见《动物学会学报》(*Transact. Zoolog. Soc.*)，1869年，第7卷，92页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，317、397页；《物种起源》第5版，535页。

须就此点再加赘述。

已经观察到，在人类身体的许多部分中有各种处于残迹状态的肌肉①，可以偶尔发现，正常存在于某些低等动物中的不少肌肉，在人类身体中却处于大大缩小的状态。每一个人一定都注意过许多动物、特别是马的抽动皮肤的能力；这是由肉质膜来完成的。现已发现这种肌肉的残迹以有效的状态存在于我们身体的种种部分中；例如双眉借以抬起的前额肌肉。在我们颈部非常发达的颈阔肌肌样体，就是属于这个系统。爱丁堡的特纳教授告诉我说，他曾偶尔发现 5 个不同部位——即肩胛骨附近的腋下等——的肌肉束都一定同肉质膜有关系。他还阐明了②，“胸骨肌不是腹直肌的延伸，而与肉质膜密切近似；在 600 个人中，3%以上有胸骨肌”，他接着说，关于“偶现的和残迹的构造在排列上特别容易变异的论述，这种肌肉提供了一个最好的例证。”

有少数人可以收缩头皮上的表面肌肉；这等肌肉是处于变异的和部分残迹的状态的。小德康多尔写信告诉我，说过一个有关长期连续保持或遗传这种能力及其异常发达的事例。他知道有一个家族的族长在幼年时能够仅靠头皮的动作就可以从头上把几本沉重的书扔开；他用耍这个把戏去打赌，而赢得赌注。他的父亲、叔父、祖父以及他的 3 个孩子都具有这种能力，而且均达到异常程度。这个家族在 8 代以前分为两支；所以上述一支的族长同另一支的族长是七世的从堂兄弟。这位远房的从堂兄弟在法国的另一地方居住；当问到他是否也具有同样的这种能力时，他立即做了表

① 例如，理查德(M. Richard)描述和图示他称为“手上足肌”(muscle pédieux de la main)的残迹状态，他说它有时是“非常微细”的。叫作“后胫肌”(le tibial postérieur)的肌肉一般在手中完全缺失，但它却时时以或多或少的残迹状态出现。

② 特纳教授，《爱丁堡皇家学会会刊》(*Proc. Royal Soc. Edinburgh*)，1866—1867 年，65 页。

[library stamp]

演。这个例子很好地说明了，一种绝对无用的能力可以多么持久地传递下去，这种能力大概来自我们遥远的半人类祖先；因为许多种类的猴都具有而且常常使用这种能力，它们可以上下自如地充分移动它们的头皮①。

为移动外耳服务的外在肌肉和使不同部分活动的内在肌肉在人类中都处于一种残迹状态，而且它们都属于肉质膜的系统；它们在发育方面、至少在机能方面也是易于变异的。我曾见过一个人能够把整个耳朵向前拉；另外一些人能够把耳朵向上拉；还有一个人能够把耳朵向后拉②；根据其中一人向我说的，只要经常触动我们的耳朵，这样把我们的注意力引向它们，大多数人在反覆试行中大概都能恢复移动耳朵的一定能力。把耳朵竖起并使它们朝不同方向移转的能力对许多动物来说，无疑都是高度有用的，因为，这样它们可以觉察危险来自何方；但我从来没听到过有充足的证据可以证明一个人所具有的这种能力对他会有什么用处。整个外耳以及各种耳褶和突起(如耳轮和对耳轮、耳屏和对耳屏等)都可以被看作是残迹的；在低等动物中，当耳朵竖起时，它们在不给耳增加很大重量的情况下起到加强和支持耳的作用。然而，有些作者猜想，外耳的软骨有向听神经传导振动的作用；但是，托因比③先生在搜集了所有关于这个问题的已知证据之后，断定外耳并没有独特的用途。黑猩猩和猩猩的耳同人类的耳异常相似，而且其特有的

---

① 参阅《人和动物的感情表达》(Expression of the Emotions in Man and Animals)，1872年，144页。

② 卡内斯垂尼引用海塔尔(Hyrtl)的材料，表明有同样情况，见《摩德纳自然科学协会会报》，1867年，97页。

③ 《耳病》(The Diseases of the Ear)，1860年，12页；皇家学会会员托因比。卓越的生理学家普赖尔(Preyer)教授告诉我说，他最近对外耳的机能做了试验，得出同这个差不多一样的结论。

肌肉同样也是非常不发达的[①]。伦敦动物园的饲养员们向我保证，这等动物从来不移动或竖起它们的耳朵；所以，就其机能而言，它们的耳处于和人类的耳相等的残迹状态。为什么这等动物以及人类的祖先失去了竖立耳朵的能力，我们还无法说明。可能是，由于它们在树上生活的习性而且力大，它们面临的危险很小，因此在长时期内它们很少移动耳朵，这样就逐渐失去了移动它们的能力；但我并不满意于这种观点。这大概同下述事例是类似的，即，那些大形而笨重的鸟类由于居住在海岛上，不面临食肉兽的攻击，因而失去了使用双翅来飞翔的能力。然面，人类和几种猿虽不能移动耳朵，却可以从在水平面上自由移动头部以捕捉来自各方的声音而部分地得到补偿。有人断言，唯独人类的耳具有耳垂；但"在大猩猩中发现有它的残迹"[②]；我听普瑞尔教授说，黑人不具耳垂者并不罕见。

著名的雕塑家伍尔纳先生告诉我说，他时常在男人和女人中观察到外耳有一个小特征，而且他体会到这有充分意义。最初引起他注意这个问题的是当他雕塑莎士比亚剧中顽皮小妖精的时候，他曾给这只小妖精雕塑了一个尖耳。这样，他被引导去考察各种猴的耳，此后又更加仔细地对人类的耳进行了考察。这一特征为一个小钝点，突出于向内折叠的耳边，即耳轮。如有这个特征，在婴儿一生下来它就是发达的，按照路德维格·迈耶教授的说法，具有这一特征的，男多于女。伍尔纳先生为其制作了一个精确的模型，并把本书的附图见赠(图 2)。这等点不仅朝着耳的中心向内突出，而且常常稍微突出于它的平面之外，因而从正前方或者从正后方去看头部时，都可以见到这等点。它们在大小上是有变异的，在位置上

① 麦克利斯特尔(A. Macalister)教授，《博物学年刊杂志》(*Annals and Mag. of Nat. History*)，第 7 卷，1871 年，342 页。

② 米伐特，《基础解剖学》(Elementary Anatomy)，1873 年，396 页。

也多少有点变异，稍微高一些或者低一些；且有时呈现于一耳，而不见于另一耳。并不仅限于人类才具有这一特征，因为我看到伦敦动物园里的一只蛛猴也具有这种特征；兰克斯特先生告诉我说，汉堡动物园里的一只黑猩猩是另一个事例。耳轮显然是由向内折叠的最外部耳边形成的，这一折叠部分似乎同整个外耳被持久地压向后方多少有些关联。在许多等级不高的猴类中，如狒狒和猕猴属的一些物种[①]，耳的上部是微尖的，而且耳边全然不向内折叠；但是，如果耳边向内折叠的话，那么一个微小的点必然要朝着耳的中心向内突出，而且可能稍微地突出于耳的平面之外；我相信，在许多场合中这就是它的起源。另一方面，迈耶教授在其最近发表的一篇富有才华的论文中主张[②]，整个情形不过仅仅是变异性的一种而已；那个突出点并不是一个真的突出点，而是由于那个突出点两侧的内软骨没有充分发育所致。我十分乐意承认，对许多事例来说，这是一个正确的解释，如在迈尔教授所绘的图中，耳轮上有若干微小的点，即整个耳边是弯进弯出的。通过唐恩博士的好意帮助，我曾亲自看到一个畸形小头的白痴人的耳，在耳轮的外侧、而不是在向内折叠的边上，有一个突出点，所以这个点同既往存在的耳的尖端并无关系。尽管如此，在许多场合中我的本来观点，即那个突出点为既往存在的直立而尖形

图 2　人类的耳
伍尔纳先生雕塑并制图
a. 突出点

① 参阅默里和米伐特二位先生的优秀论文，其中附有狐猴亚目（Lemuroidea）的耳的绘图，见《动物学会会报》，第 7 卷，1869 年，6、9 页。

② 《关于达尔文所论的尖耳》（Ueber das Darwin'sche Spitzohr），见《解剖学和生理学文献集》（*Archiv für Path. Anat. und Phys.*）1871 年，485 页。

的耳之顶端，在我看来大概还是很可能的。我之所以这样认为，是由于它们的屡屡出现，而且由于它们的位置同尖耳顶端的位置一般是符合的。有一个例子——我曾得到它的照片：那个突出点如此之大，以致遮盖了全耳的整整1/3，倘若按照迈尔教授的观点，则必须假定，软骨要在耳边的全部范围内有同等发育，才能使这样的耳完成。我还由通信中得知两个例子，其一发生在北美，另一个发生在英国，表明上部耳边全然不向内折叠，而是尖形的，因此，它在轮廓上同一只普通四足动物的尖耳密切类似。此二例之一，为一个幼儿的耳，他父亲把这个幼儿的耳同我在一幅图中① 举出过的一种猴，即黑顶猿的耳做了比较，说道，它们的轮廓是密切相似的。在这两个例子中，如果耳边以正常方式向内折叠，那么一个内向的突出点一定会形成。我还可以补充另外两个例子，表明耳的轮廓依然留有稍微尖形的残迹，虽然上部耳边是正常向内折叠的——其中一只向内折叠得很狭。下面的木刻图(图3)是一只猩猩胎儿照像的正确仿制[蒙尼采博士好意见赠]，从这幅图中可以看出，这一时期的耳的尖形轮廓同其成长时期的状态是多么不同；当成长时，它的耳同人耳是密切相似的。显然，这样一只耳的尖端折叠起来，除非它在进一步发育中发生重大变化，将会形成一个向内突出的点。总之，我依然觉得，所讨论的那个突出点在无论是人类或猿类的某些事例中很可能都是既往状态的残迹。

瞬膜、即第三眼睑及其附属的肌肉和其他构造在鸟类中十分发达，而且对它们有很大的机能重要性，因为它能迅速地把整个眼球遮盖起来。有些爬行动物和两栖动物，还有某些鱼类如鲨鱼，也有瞬膜。在哺乳动物的两个低等的门类、即单孔目和有袋目中，以及在少数某些高等哺乳动物、如海象中，瞬膜也是十分发达的。但是，在人类、四手类以及大多数其他哺乳动物中，如所有解剖学者

---

① 《人和动物的感情表达》，136页。

所承认的，瞬膜不过是一种被称为半月褶的残迹物而已①。

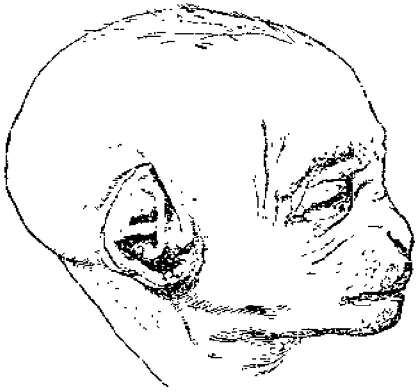


图 3 一只猩猩的胎儿
根据一张照像的正确复画仿制，表明这一生命早期的耳的形态

嗅觉对大多数哺乳动物来说，都是最高度重要的——如对反刍动物，用于警告危险；对肉食动物，用于搜索所要捕食的动物；还有，如对野猪，则上述两种意义兼而有之。但是，嗅觉甚至对黑色人种，如果还有一点用处的话，也是极其微小的，而黑色人种的嗅觉远比白色人种和文明人的嗅觉还要发达得多②。尽管如此，嗅觉并不为黑人警告危险，也不引导他们去找食物；它不阻止爱斯基摩人睡眠于恶臭的空气之中，也不阻止许多未开化人吃半腐烂的肉。在欧洲人中，各个人的这种能力差别很大；这是一位卓越的自然学者向

① 参阅米勒(Müller)的《生理学原理》(Elements of Physiology)，英译本，1842年，第2卷，1117页。欧文(Owen)，《脊椎动物解剖学》，第3卷，260页；关于海象，《动物学会会报》，1854年11月8日。再参阅诺克斯(Knox)的《伟大的艺术家和解剖学家》(Great Artists and Anatomists)，106页。这一残迹物在黑人和大洋洲人中比在欧洲人中显然多少大一点，参阅卡尔·沃格特的《人类讲义》(Lectures on Man)，英译本，129页。

② 洪堡(Humboldt)关于南美土人所具有的嗅觉能力的记载是众所周知的，而且已被其他人士所证实。马泽(M. Houzeau)断言，黑人和印第安人能在黑暗中根据气味来认人，见《心理能力的研究》(Etudes sur les Faculte's Mentals)，第1卷，1872年，91页。奥格尔(W. Ogle)博士就嗅觉与嗅区(Olfactory region)粘膜的以及皮肤的色素物质之间的关系做了一些奇妙的观察。据此我才谈到黑色人种的嗅觉优于白色人种。参阅他的论文，《外科学学报》(*Medico Chirurgical Transactions*)，伦敦，第53卷，1870年，276页。

我保证的，他具有高度发达的嗅觉，而且注意过这个问题。那些相信逐渐进化原理的人们不会轻易地承认，现今状态的嗅觉乃是由人类最初获得的。他从某一早期祖先遗传了这种处于衰弱而残迹的状态下的能力；对其早期祖先来说，它是高度有用的，而且要不断地使用它。在那些嗅觉高度发达的动物中，例如狗和马，对于人和地方的记忆是同它们的气味高度联系在一起的；这样，我们恐怕就能理解，如莫兹利博士所正确指出的①，为什么人类的嗅觉"在生动地追忆已经忘却的景色和地方的概念和影像时是异常有效的。"

人类几乎裸而无毛，这是同所有其他四手类的显著差别。但是在男人的大部分身体上还有少量散在的短毛，在女人身体上也有纤细的绒毛。不同种族在毛的多少上差别很大；同一种族中各个人的毛不仅在多少上，而且在部位上都是高度变异的；例如，有些欧洲人的肩部完全无毛，而另外一些人的肩部却生有茂密的丛毛②。这样散在于全身的毛乃是低等动物的均匀一致的皮毛的残迹，则是没有多大疑问的了。这一观点从下述事实来看就越发可能是确实的，即，我们知道，四肢和身体其他部分的纤细的、短的、淡色的毛，当在长久发炎的皮肤附近受到异常营养时，偶尔会发育成为"茂密的、长的、粗而黑的毛。"③

詹姆斯·佩吉特爵士告诉我说，一个家族常有几个成员，他们的眉毛中有几根要比另外的长得多；所以说，甚至这种微小特性也

① 《心理的生理学和病理学》(The Physiology and Pathology of Mind)第2版，1868年，134页。

② 埃舍里希特(Eschricht)，《论人类身体的兀毛》，(Ueber die Richtung der Haare am menschlichen Körper)，见米勒的《解剖学和生理学文献集》(Müller's Archiv für Anat. und Phys.)1837年，47页。以后我将常常引用这篇非常奇妙的论文。

③ 佩吉特，《外科病理学讲义》(Lectures on Surgical Pathology)，第1卷，1853年，71页。

是遗传的。这等长眉毛似乎也有它们的代表，因为黑猩猩和猕猴属的某些种在其眼的上方裸皮上生有相当于我们眉毛的很长的散毛；在某些狒狒中，有相似的长毛突出于眉脊毛皮之外。

人类胎儿在6个月的时候，全身密布羊毛般的细毛，这就提供了一更加奇妙的事例。在5个月的时候，眉端和脸上的毛，特别是口部周围的毛开始发育，口部周围的毛比头上的毛还要长得多。埃舍里希特[①] 曾观察到一个女胎儿生有这种小胡子，但这件事情并不像最初看来那样令人惊奇，因为在生长早期男女两性的一切外在性状一般都是彼此类似的。胎儿身体所有部分的毛的趋向和排列同成年人的一样，不过受更大的变异性所支配。整个皮肤表面，甚至前额和双耳，都有毛密布其上；但有一个意味深长的事实，即，手掌和足蹠则完全是裸而无毛的，有如大多数低等动物的四个足蹠一样。因为这简直不能是一种意外的巧合，所以人类胎儿的羊毛般的覆毛大概代表着那些生来就是多毛的哺乳动物的最初永久性的毛皮。关于人生下来在其整个体部和面部就密布着细而长的毛，曾经记载过三四个事例；这一奇怪的状态是强烈遗传的，而且同牙齿的畸形相关[②]。亚力山大·布兰特教授告诉我说，他曾把一位具有这样特性的35岁男人的面毛同一个胎儿的胎毛做过比较，发现它们在组织上是完全相似的；所以，如他所指出的，这种事例可以归因于毛的发育受到抑制以及它的继续生长。儿童医院里的一位外科医生向我保证说，许多病弱的儿童在背部生有十分长的细毛；这等事例大概可以纳入同一个问题之下。

最后面的那个臼齿，即智齿，在人类比较文明的种族中好像有变为残迹的倾向。这等齿比其他臼齿小得多，黑猩猩和猩猩的相应

① 埃舍里希特，同前文，40、47页。

② 参阅《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，327页。勃兰特教授最近寄给我另一件事例：有一父及其子，降生于俄国，具有这等特性。我从巴黎收到这两个人的画像。

齿也是如此；而且它们只有两个分叉的牙根。到17岁左右，它们才穿出牙龈，有人向我保证，它们远比其他齿容易龋坏，而且脱落也要早得多；不过有些著名的牙医否认这一点。它们还远比其他齿容易变异，无论在构造上或是在它们的发育时期上都是如此①。在黑色人种中，智齿通常具有三个分叉的牙根，而且一般健全；它们同其他臼齿在大小上还有差别，不过其差别要比在高加索种族中为小②。沙夫豪生教授以文明种族的"颚的后齿部一直在缩短"③来解释各种族之间的这种差别，我设想，可以把这种缩短归因于文明人惯常吃软的和煮过的食物，这样，他们就较少使用颚部。勃雷斯先生告诉我说，在美国把儿童的某些臼齿拔掉，已成为十分普通的常事，因为颚部长得不够那样大以容纳完全发育的正常齿数④。

关于消化道，我看到一项报道，记载着唯一的残迹物，即盲肠的蛆型附属物。盲肠为肠部的一个分支或膨部，末端成一盲管，在许多以植物为食的低等哺乳动物中，它是极其长的。在有袋的树袋熊⑤中，其盲肠实际上要长于整个体部的三倍以上⑥。它有时延长而成为一个长的逐渐变细的尖端，而且有时部分阻塞。看来好像是食物或习性的改变，致使各种动物的盲肠才大大地缩短，而蛆型附属物作为缩短部分的残迹物而被留下来了。我们从这一附属物的

① 韦布(Webb)博士，《人类和类人猿的齿》(Teeth in Man and the Anthropoid Apes)，卡特·布莱克(Carter Blake)博士曾予引用，见《人类学评论》(Anthropological Review)，1867年7月，299页。

② 欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，320、321、325页。

③ 《关于头骨的原始形态》(On the Primitive Form of the Skull)，英译，见《人类学评论》，1868年10月，426页。

④ 蒙特加沙(Montegazza)从佛罗伦萨写信告我，他晚近对不同人类种族的最后一个臼齿进行了研究，他得出同本书一样的结论，即，在高等的或文明的诸种族中，这个臼齿正走向萎缩和消灭的途中。

⑤ 树袋熊为一种貌似小熊的无尾动物，即 *Phascolarctos cinereus*，栖于树上，澳大利亚产。今多译考拉熊。——译注

⑥ 欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，416、434、441页。

小形以及根据卡内斯垂尼[①]就人类盲肠变异性所搜集的证据，可以推论出这一附属物是一种残迹物。偶尔它完全不存在，偶尔却非常发达。其通道全长的一半或2/3已完全闭塞，末端为一扁平实心的膨胀体。猩猩的这种附属物是长而蟠曲的；人类的这种附属物从短的盲肠一端长出，其长度通常为4—5英寸，其直径仅为1/3英寸左右。它不仅是无用的，而且有时是致死的原因；关于这样的事，我晚近听到两个例子；这是由于小而硬的东西，譬如种子，进入它的通道而引起炎症所致[②]。

在某些低等的四手类中，在狐猴科动物中，在食肉类动物中，以及在许多有袋类动物中，有一个孔道位于上膊骨的下端附近，叫作上髁状突起孔，前肢的大神经从此孔通过，大动脉也常常从此孔通过。人类的上膊骨一般都有这一孔道的残迹，它有时发育得相当良好，由一个下垂的钩状骨突形成它的一部分，并由一束韧带使其成为一个完善的孔。曾经密切注意过这个问题的斯特拉瑟斯博士[③]现在阐明这一特性有时是遗传的，因为有一位父亲有此特性，在他的7个孩子中不下4人也有此特性。当这一孔道存在时，大神经一律要通过那里；这就明显地表示了，它是低等动物上髁状突起孔的同源部分和残迹物。特纳教授估计，如他告诉我的，现今人类骨骼有这一孔道的约占1%。但是，如果人类这一构造的偶尔发育

---

① 《摩德纳自然科学协会年报》，1867年，94页。

② 马丁斯（M. C. Martins），《论生物界的一致性》（De l'Unité Organique），见《两个世界评论》（Revue des Deux Mondes），1862年6月15日，16页。赫克尔，《普通形态学》，第2卷，278页，他们二人都曾谈到这一残迹物有时会引起死亡的奇特事实。

③ 关于它的遗传性，参阅斯特拉瑟斯博士的论文，见《柳叶刀》医学杂志，1873年2月15日，以及另一篇重要论文，见同杂志，1863年1月24日，83页。我听说诺克斯博士是注意人类这一特殊构造的第一位解剖学者；参阅他的《伟大的艺术家和解剖学家》，63页。再参阅格鲁勃（Gruber）博士的有关这一骨突的重要论文，见《圣彼得堡皇家学会会刊》（Bulletin de l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg），第12卷，1867年，448页。

是由于返祖——看来这似乎是可能的，那么它是返归到很远古的状态，因为它在高等四手类中是不存在的。

人类的上膊骨偶尔还有另一个孔，可以称为髁间孔。这个孔发生于各种类人猿以及其他猿类[①]，但不经常，许多次级动物也有此孔。值得注意的是，人类有此孔的在古代要比在近代多得多。关于这个问题，巴斯克[②]先生搜集了如下的证据：布罗卡教授谈到，"在巴黎的南方墓地中搜集到的臂骨中，具有这个孔的占 4.5%；奥罗尼洞窟的遗物属于青铜器时代，那里的 32 只上膊骨中就有 8 只具有这个孔；不过他认为这一异常大的比例可能是由于这个洞窟是一种'家族墓地'。还有，杜邦在属于驯鹿时代[③]的莱塞山谷的洞穴中发现有 30%的骨有这个孔；勒盖在阿尔让特伊的史前墓的遗迹中看到 25%的骨有这个孔；普律内尔-贝发现来自沃雷阿尔的骨有这个孔的占 26%。可不要忽视普律内尔-贝所说的，在瓜契的骨骼中这种状态是普通的。"在这个场合或另外几个场合中，古代种族比近代种族更加时常呈现一些类似于次级动物的构造，这是一个有趣的事实。一个主要的原因似乎是，古代种族在漫长的系统线上距他们遥远的动物般的祖先，站得多少要近一些。

人类的尾骨以及下述某些其他椎骨，虽然已经没有作为尾巴的功能，却明显地代表着其他脊椎动物的这一部分。在胚胎的早期，它是游离的而且超出足部之外；如人类胚胎图(图 1)所示。在

---

① 米伐特先生，《科学协会会报》(*Transact. Phil. Soc.*)，1867 年，310 页。

② 《关于直布罗陀的洞穴》(On the Caves of Gibraltar)，见《史前考古学国际会议报告书》(Transact. Internar. Congress of Prehist. Arca.)，第三届会议，1869 年，159 页。怀曼最近阐明，来自美国西部和佛罗里达古代坟墩中的人类遗骸具有此孔的，占 31%。黑人常具此孔。

③ 古石器时代的后半。——译注

某些罕见的、异常的场合中[1]，据知甚至在降生后，还会形成一个尾状的外在小残迹物。尾骨是短的，通常只包含4个椎骨，所有都胶和在一起：这些椎骨都处于残迹状态，因为除去基部的一节外，其余仅由椎体构成[2]。它们附有一些小肌肉：特纳教授告诉我说，其中的一块小肌肉曾被泰尔明确描述为尾部伸肌以残迹状态而重现，这块肌肉在许多哺乳动物中是非常发达的。

人类的脊髓仅仅伸延到最后一个脊椎，即第一腰椎；但一种线状构造（中尾丝）却沿着脊髓管的荐骨部分的轴，甚至沿着尾骨之背，向下伸延。这种线状体的上部，如特纳教授告诉我的，无疑是同脊髓同源的，而其下部显然纯粹是由软脑脊膜、即脉络被膜构成的。甚至在这种场合中还可以说尾骨具有像脊髓这样一种重要构造的残迹，虽然它已不再被关闭在骨道之中了。下述事实仍系特纳教授见告，它阐明尾骨同低等动物的真尾是多么密切地一致：卢施卡最近发现在尾骨之端有一个很特别的卷曲体，与中部的荐动脉相连接；这一发现引导克劳斯和迈耶对一只猴（猕猴）和一只猫的尾进行了考察，发现在二者之中都有相似的卷曲体，但不是位于尾端。

生殖系统提供了各式各样的残迹构造；但这等残迹构造在一个重要方面同上述事例有所不同。这里我们所涉及的并不是某一物种的处于无效状态的那一部分的残迹，而是在某一性别中是有效的，在另一性别中却仅仅是残迹的那个部分。尽管如此，根据各个物种是分别创造的信念，此等残迹物的出现有如上述事例，还是

① 卡特勒法热（Quatrefages）最近搜集了有关这个问题的证据，见《科学报告评论》*Revue des Cours Scientfiques* 1867—1868年，625页。弗莱施曼（Fleischmann）在1840年曾展出过一个人类婴儿的标本，具有一条包含一些椎体的尾，这种情形并不多见；这条尾曾被出席埃尔兰根（Erlangen）自然科学者大会的许多解剖学者们周密地检查过，见马歇尔（Marshall），《荷兰的动物学文献》（Niederlandischen Archiv für Zoologie），1871年11月。

② 欧文，《关于四肢的性质》（On the Nature of Limbs），1849年，114页。

难于解释的。此后我势必还要谈到这些残迹物，并将阐明它们的存在一般仅仅依靠遗传，这就是说，依靠某一性别所获得的部分曾被不完全地传递给另一性别。在这里我所举出的不过是几个有关这等残迹物的事例而已。众所周知，所有哺乳动物的雄者，包括人在内，都有残迹的乳房。在几个事例中，这等残迹的乳房变得十分发达，而且分泌丰富的乳汁。它们在男女两性中本质上是相等的还可由下述事实得到阐明，即，在感染麻疹期间，男女双方的乳房都偶尔呈交感的增大。可以观察到，许多雄哺乳动物都有前列腺囊，现已普遍承认它同雌者的子宫以及与其相连接的管道都是同源的。读过洛伊卡特对这个器官所做的富有才华的描述和他的推论，而不承认他的结论的正确性，是不可能的。这在那些具有分叉的真正雌性子宫的哺乳动物场合中尤其明显，因为这等雄性哺乳动物的前列腺泡同样也是分叉的①。在这里还有另外一些属于生殖系统的残迹构造② 可以引述。

现在列举的这三大类事实的意义是清楚明白的。但是，再反复陈述我在《物种起源》中详细提出来的一系列论点，就完全是多余的了。如果我们承认同科的诸成员来自一个共同的祖先，并且承认它们继此之后曾适应于多种多样的外界条件，那么，同科诸成员整个身体的同源构造就是可以理解的了。根据任何其他观点，则人或猴的手、马的足、海豹的前肢、蝙蝠的翼等等之间的模式何以相似，

---

① 洛伊卡特，见托德编的《解剖学全书》(Todd's Cyclop. of Anat.)。男人的这器官只有3至6赖因(lines；12赖因为1英寸)长，但像如此众多的其他残迹部分那样，它在发育上以及其他性状上都是容易变异的。

② 关于这个问题，参阅欧文的著作，《脊椎动物解剖学》，第3卷，675、676、706页。

就是完全不可解释的了[①]。断言他们一切都是按照一个同样的理想计划而造成的，并不是一个科学的解说。关于发育，根据这样的原理，即变异是在很晚的胚胎时期中随后发生的，而且是在相应的时期中遗传的，那么，我们就能清楚地理解为什么那些差异大得惊人的类型，其胚胎依然多少完全地保留着它们共同祖先的构造。人的、狗的、海豹的、蝙蝠的、爬行动物的胚胎彼此之间最初简直无法被区别开，对这样奇异的事实，从来没有过任何其他解释。为了理解残迹器官的存在，我们只能假定先前的一位祖先曾具有完善状态的这等部分，并且在生活习性改变了的情况下大大地缩小了，这或者是由于简单的不使用，要么就是由于那些最少是受多余部分之累的个体受到了自然选择，而且得到上述其他手段的帮助。

这样，我们就能理解，为什么人类和其他脊椎动物都是按照同样的一般模型被构成的，为什么他们都通过同样的早期发育阶段，而且，为什么他们都保留着某些共同的残迹物。因此，我们就应该坦白地承认它们的由来的共同性；如果接受其他观点，则无异于承认我们的构造以及我们周围的所有动物的构造仅仅是设下的一个陷阱以诱使我们的判断落入其中。如果我们注意一下整个动物系

---

① 比昂科尼(Bianconi)在最近发表的一部附有精美雕版图的著作《达尔文学说与生物独立创造论》(La Théorie Darwinienne et la création dite indépendante, 1874)中，力图阐明上述诸例以及其他各例中的同源构造可以依据与其用途相一致的机械原理得到充分的解释。他对这等构造如何美妙地适应其终极目的所做的阐明，实为他人所莫及；但我相信，这种适应性可以通过自然选择得到解释。在讨论蝙蝠的翼时(218页)，我以为他所提出的仅仅是一种形而上学的原理(借用奥古斯特·孔德的用语)，即“保全此动物的哺乳性质”。他只在少数几事例中讨论过痕迹器官，而所说的仅是那些不完全呈残迹状态的部分，如猪和牛的小蹄，而这与实质性问题根本无关；他明确指出这等残迹器官对动物还有作用。不幸的是，他没有考虑过以下事例，如牛的永不穿出牙龈的小牙，雄四足动物的乳房，存在于密闭翅盖之下的某些甲虫的翅，各式各样花的雄蕊和雌蕊的痕迹，以及其他许多类似的事例。虽然我十分赞扬比昂科尼教授的著作，但大多数自然科学者今天所持的信念，在我看来，是不可动摇的，即，仅仅根据适应原理，痕迹构造是不可能得到解释的。

统的成员，并且考虑一下从它们的亲缘关系或分类、它们的地理分布和地质上的演替所得到的证据，上述结论就被大大加强了。使我们祖先宣称他们是从半神半人传下来的后裔，并且引导我们去反对上述结论的，不过是我们蒙昧的偏见和骄傲自大而已。但是，终有一天不久会到来，到那时，十分熟悉人类和其他哺乳动物的比较构造和比较发育的自然学者们如果还相信各个物种乃是分别创造作用的结果，那就会被认为是奇怪的事了。

第 二 章

人类自某一低等类型发展的方式

人类身体和心理的变异性——遗传——变异性的原因——人类的变异法则和次级动物的一样——生活条件的直接作用——各部分增强使用和不使用的效果——受到抑制的发育——返祖——相关变异——增长的速度——对增长的抑制——自然选择——人类是世界上最占优势的动物——人类身体构造的重要性——导致人类变为直立的诸原因——由于直立而发生的构造变化——犬齿的缩小——头骨的增大及其形状的改变——无毛——无尾——人类不能自卫的情况

显然，人类现今依然受强大的变异性所支配。在同一个种族中没有任何两个人是完全相像的。我们不妨把无数面孔加以比较，真是千人千面。在人类身体各部分的比例和大小方面也有同等大量的多样性；腿的长度是最易变异的诸点之一①。虽然在世界的某些地区一种长头颅是普遍的，在另外一些地区一种短头颅是普遍的，但是，甚至在同一个种族的范围内头的形状还有巨大的多样性，如美洲和南澳洲的土著居民就是这样——后一种族的"血统、风俗以及语言在现存各种族中大概是最纯粹、最均一的"，甚至像区域如

① 《关于美国士兵的军事学和人类学的统计之研究》(Investigations in Military and Anthropolog, Statistics of American Soldiers)，古尔德(B. A. Gould)著，1869 年，256 页。

此狭窄的桑威奇群岛[①]上的居民也是如此。一位著名牙科医生向我保证说，牙齿的巨大多样性差不多同面貌的一样。主动脉如此常常地在歧路上循行，以致发现从1,040具尸体中计算出循行路线的出现次数对解决外科问题是有用的[②]。肌肉是显著容易变异的；例如，特纳教授发现[③]，在50具尸体中没有两具尸体的足部肌肉严格地相似；在有些尸体中其差别是相当大的。他接着说，司掌运动的能力一定适当地按照若干差别而有所改变。伍德先生曾做过如下记录[④]：在36具解剖用的尸体中，有295个肌肉变异，在另一组同样数目的解剖用尸体中不少于558个变异，而且在身体两侧发生的变异只作为一个计算。在后一组36人中，"查明并无一人与解剖学教科书中所做的肌肉系统的标准描述完全一样。"其中一个尸体竟有25个独特的畸形肌肉，数目之大，令人惊奇。同一块肌肉有时以多种方式发生变异，例如，麦卡利斯特教授[⑤]描述过副掌肌的独特变异不少于20个。

著名的老一辈解剖学者沃尔夫[⑥]坚决主张，内脏比外部器官更容易变异；"人体内部没有一部分不变异的"。他甚至写过一篇专

① 关于美洲土著居民的头颅类型，参阅艾特肯·梅格斯(Aitken Meigs)的文章，见《费城科学院院报》(*Proc. Acad. Nat. Sci.*, *Philadelphia*)，1868年5月。关于澳洲人，参阅赫胥黎的叙述，见莱伊尔的《人类的古远性》，1863年，87页。关于桑威奇群岛(即夏威夷群岛——译者)的居民，参阅怀曼(Wyman)教授的《头颅观察》(Observations on Crania)，波士顿，1868年，18页。

② 《动脉解剖学》(Anatomy of the Arteries)，奎因(R. Quain)著，第1卷，前言，1844年。

③ 《爱丁堡皇家学会会报》，(*Transact. Royal Soc. Edinburgh*)，第24卷，175、189页。

④ 《皇家学会会报》，(*Proc. Royal Soc.*)，1867年，544页；或1868年，483、524页，以及以前的文章，1866年，229页。

⑤ 《爱尔兰皇家科学院院报》(*Proc. R. Irish. Academy*)，第10卷，1868年，141页。

⑥ 《圣彼得堡科学院院报》(*Act. Acad. St. Petersburg*)，1778年，第2部分，217页。

论，陈述如何选择内脏的典型标本作为代表。他讨论了肝、肺、肾等形体的"尽美"，犹如人类外貌的尽美一样，听起来够奇怪的。

人类同一种族心理官能的变异性或多样性是如此为大家所熟知，以致无须在这里多赘，至于人类不同种族之间的更大差异，就更不必谈了。低等动物也是如此。所有管理过动物园的人们都承认这一事实，而且我们在家狗以及其他家养动物中可以明显地看到这一点。布雷姆特别坚决主张，他在非洲驯养的那些猴中，每一个猴都有它自己特殊的气质和脾气；他提到有一只狒狒，以它的高度智力而著称；伦敦动物园管理员曾向我指点过一只属于新世界[①]的猴，同样地以它的智力而著称。伦格尔也坚决主张，他在巴拉圭所养的同种的猴的各种心理特征也是多式多样的，他接着说，这种多样性一部分是先天的，一部分是它们受到的待遇或教育的结果[②]。

关于遗传的问题，我在他处[③]已经做过非常充分的讨论，在这里简直没有什么再需要补充的了。关于人类最细微的以及最重要的性状遗传，我们所搜集到的事实比对任何低等动物的都多；虽然关于后者的事实也足够丰富的。至于心理属性亦复如此，它们在家狗、家马以及其他家养动物中的遗传也是显著的。除了特别的嗜好和习性以外，一般的智力、勇气、坏脾气和好脾气等等肯定都是遗传的。至于人类，我们在差不多每一个家族中都可以看到相似的事实；通过高尔顿[④]先生的令人钦佩的工作，我们现在知道，天才也倾向于遗传，所谓天才就是高度才能的异常复杂的结合；另一方

① 指美洲大陆。——译注

② 布雷姆，《动物生活》(Thierleben)，第1卷，58、87页。伦格尔，《巴拉圭的哺乳动物》(Saugethiere von Paraguay)，57页。

③ 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，12章。

④ 《遗传的天才：关于它的法则及其重要性的探究》(Hereditary Genius: An Inquiry into its Laws and Consequences)，1869年。

面，同样地，癫狂以及退化的心理能力肯定也在一些家族中得到遗传。

关于变异性的原因，就所有情况来说，我们都是很无知的；但我们还能够领会，在人类和低等动物中变异性的原因同各个物种在若干世代间暴露于其中的外界条件有某种关系。家养动物比那些处于自然状况下的动物更多变异；这显然是由于支配它们的外界条件性质的多样化和变化所致。在这方面，不同的人类种族同家养动物相似，同一个种族的各个人当居住在像美洲那样的辽阔地域时也同家养动物相似。我们看到在比较文明的民族中多样化的生活条件所发生的影响；因为属于不同阶层的而且从事不同职业的成员比野蛮民族的成员有更大的性格差距。不过，未开化人的一致性往往被夸大了，而且在某些场合中简直不能说有这种一致性存在①即使我们仅注意到人类所暴露于其中的外界条件，要说人类远比任何其他动物更加“家养化”②，也是一种错误。有些未开化种族，如澳洲土人，并不及分布范围辽阔的许多物种的生活条件更多样化。在另一个远为重要的方面：人类与任何严格家养的动物都大不相同；因为人类的生育从来没有通过有计划的或无意识的选择而长期受到控制。没有一个人类的种族或个人会被另外的人所完全征服，以至某些个人由于以某种方式在对主人有用方面胜过他人而被保存下来，这样便受到了无意识的选择。除去普鲁士掷弹兵那个著名的事例外，没有某些男人和女人被有意识地挑选出来而令其婚配；在普鲁士掷弹兵这一事例中，就像可以预期的那样，

---

① 贝茨（Bates）先生说（《亚马孙河上的博物学者》（The Naturalist on the Amazons），1863年，第2卷，159页），关于同一个南美部落的印第安人，“其头部形状，没有两个人是完全一样的；其中一人面形椭圆，相貌美好，而另一人则完全是蒙古人的样子，面颊宽阔而突起，鼻孔掀张，两眼斜视。”

② 布卢门巴哈（Blumenbach），《关于人类学的论文》（Treatises on Antropolog.）英译本，1865年，205页。

人服从于有意识选择的法则；因为有人断言，在掷弹兵及其高个子妻子所居住的村庄中曾经养育出许多高个子的人。在斯巴达，也采用过一种选择方式，因为曾经颁布过这样的法律：所有婴儿在降生后不久就应受到检查；外貌良好而健壮的被保存下来，其余的则任其死亡①。

如果我们把所有人类种族都视为单一物种，那么其分布范围是非常广阔的；不过有些与世隔离的种族，如美洲印第安人和波利尼西亚人，也有很广阔的分布范围。有一条法则是众所周知的，即分布范围广阔的物种远比分布范围狭窄的物种更加容易变异得多；把人类的变异性同分布范围广阔的物种的变异性相比较，比把他们同家养动物的变异性相比较，更加准确可靠。

看来人类和次级动物的变异性不仅是由同样的一般原因所诱发的，而且二者身体的相同部分也以密切近似的方式受到影响。这

---

① 米特福德(Mitford)的《希腊史》(History of Greece)，第1卷，282页。色诺芬(Xenophon，希腊哲学家，历史家，公元前434？—355—译注)所著的《回忆录》(Memorabilia)第2卷第4章中有一段也谈到，男人择妻应以孩子们的健壮和精力旺盛为目的，这是希腊人所公认的原则(赫尔牧师使我注意到这一段)。希腊诗人西奥格尼斯(Theognis)生活于公元前550年，他明显地看出选择如被谨慎地应用，对人类的改进是何等重要。他还看出财富往往会抑制性选择的适当作用，因而乃作诗如下：

克氏养马牛，　凡事依规则，
选种贵血统，　避免劣与弱，
为了增收益，　成本所不恤。
吾人婚配中，　钱却为一切：
为了金钱故，　男人娶其妻；
复为金钱故，　女人嫁其夫，
恶棍与流氓，　亦愿随君去；
财源大茂盛，　子女择配时，
门当须户对，　夸富其门族；
万事皆混杂，　贵贱已无殊！
外貌与精神，　退化斑驳多，
劝君莫惊异，　起因至明白！
后果徒悲叹，　吾种已低劣。

一点已由戈德隆和卡特勒法热充分详细地予以证明了，所以在这里我只须提一下他们的著作① 就行了。逐渐成为轻微变异的畸形在人类和次级动物中同样也是如此相似，以致同样的分类和同样的名词可以通用于二者，小圣伊莱尔②对此已有所阐述。我在有关家养动物变异的那部著作中，曾试图以粗略的方式把变异的法则安排在如下的各个项目中：改变了的外界条件直接而一定的作用；这种作用可以由同一物种的一切个体或几乎一切个体在同样环境中按照同样方式发生变异而被显示出来。各个部分长期连续使用和不使用的效果。同源部分的结合。复合部分的变异性。生长补偿；不过关于这一法则，我还没有找到有关人类的良好事例。某一部分对另一部分的机械压迫的结果；如婴儿的颅骨在子宫中所受到的骨盆压迫。发育的抑制，导致诸部分的缩小或其生长受到抑制。通过返祖，长久亡失性状的重现。最后，相关作用。所有这些所谓的法则可以同等地应用于人类和低等动物；其中大多数法则也可以应用于植物。在这里对所有这些法则一一加以讨论将是多余的③；不过其中有几项法则是如此重要，以致还必须以相当篇幅加以讨论。

改变了的外界条件直接而确定的作用

这是一个最错综复杂的问题。不可否认，改变了的外界条件对

① 戈德隆，《论物种》(De l'Espèce)，1859年，第2卷，第3册。夸垂费什，《人种的一致性》(Unité de l'Espèce Humaine)，1861年。他的有关人类学的讲义，载于《科学报告评论》1866—1868年。

② 《畸形组织志及其分类》(Hist. Gén et Part. des Anomalies de l'Organisation)，3卷本，第1卷，1832年。

③ 在我的《动物和植物在家养下的变异》第2卷，第22章、23章中，对这些法则曾进行过充分讨论。杜兰德(M. J. P. Durand)最近(1868年)发表过一篇有价值的论文，《论环境的影响》(De l'Influence des Milieux)。关于植物，他非常强调土壤的性质。

所有种类的生物都会发生某些作用，有时是相当大的作用；最初看来很可能是，如果有充足的时间，这将是必然的结果。但是我没有能够得到支持这一结论的明显证据；而在相反方面却可以提出正当的理由，至少有关适应于特殊目的的无数构造是如此。然而无可怀疑，改变了的外界条件可以引起几乎无限的彷徨变异，而整个组织因此在某种程度上变为可塑的了。

在美国，参加最近一次战争的 100 万以上的士兵受到了身体测量，而且对他们的降生和成长时所在的洲进行了登记①。根据这一数量大得惊人的观察，可以证明某种地方性影响对身材直接发生作用；我们进一步认识到："大部分身体成长时所在的州以及表明其祖先系统的降生时所在的州似乎对身材有显著影响。"例如，已经证实，"当成长时居住在西部各州，有使身材增高的倾向。"另一方面，海军生活会延缓其成长，正如下述所阐明的那样，"十七八岁的陆军士兵和海军士兵的身材有巨大差别。"古尔德先生力图查明这样对身材发生作用的影响的性质；但他只得到了反面的结果，即，它们同气候、土地高度、土壤没有关联，甚至同生活的富裕和贫困也不以任何支配的程度相关联。这后一结论用维勒美根据法国不同地方应征士兵身高的统计所得出的结论直接相反。如果我们把波利尼西亚酋长和同岛低层人民的身材差别加以比较，或者把肥沃的火山岛居民和同海洋②低处的荒瘠珊瑚岛居民的身材差别加以比较，再把生活资料很不相同的火地岛东海岸和西海岸居民的身材差别加以比较，那就不可避免地会做出如下结论：较好的食物和较大的生活舒适确可对身材产生影响。但是，上面的叙述阐明

① 古尔德，同前书，1869 年，93、107、126、131、134 页。

② 关于波利尼西亚人，参阅普里查德(Prichard)的《人类体格史》(Physical Hist. of Mankind)，第 5 卷，1847 年，145、283 页。再参阅戈德隆的《论物种》，第 2 卷，289 页。居住在上恒河(Upper Ganges)和孟加拉(Bengal)的印度人在外貌上也有显著差异；参阅埃尔芬斯通(Elphinstone)的《印度史》，第 1 卷，324 页。

了要得出任何确切的结果是何等困难。比多博士最近证明，关于英国居民，城市生活和某种职业对其身高有一种退化的影响；并且他推论这一结果在一定程度上是遗传的，在美国同样也有这种情况。比多博士进一步相信，"如果一个种族的身体发达到最高顶点，其身体精力和精神活力也要升到最高峰。"[①]

外界条件对人类是否产生任何其他作用，现在还不知道。可以预料，气候的差异将会发生一种显著影响，因为肺和肾在低温下的活动要加强，而肝和皮肤在高温下也是如此[②]。以前认为，皮肤的颜色和毛发的特性是由光或热来决定的；虽然简直无法否认由此产生的某种效果，但几乎所有观察家们现在还一致认为这种效果是很小的，即使多年暴露于其中也是一样。在我们讨论人类不同种族的时候，还要对这个问题进行更适当的探讨。关于家养动物，有理由相信寒冷和潮湿对毛的生长有直接影响；但是，在人类的场合中，我还没有遇到任何有关这个问题的证据。

各部分增强使用和不使用的效果

众所周知，使用可以使一个人的肌肉加强，而完全不使用，或破坏其专有的神经，则可使肌肉减弱。当眼受到破坏时，视神经常常变得萎缩。当一条动脉被结扎时，其侧脉管的直径不仅在增大，而且管壁的厚度和强度也有所增加。当一个肾因病停止作用时，另一个肾就要增大，而且加倍地工作。骨如果负担较大的重量，不仅

---

① 《人类学会纪要》(*Memoirs, Anthropolog. Soc.*)，第3卷，1867—1879年，561、565、567页。

② 布雷·肯里奇(Brakenridge)博士，《特异素质理论》(Theory of Diathesis)，见《医学时报》(*Medical Times*)，1869年，6月19日，7月17日。

厚度、而且长度都有所增加[①]。经常从事不同职业可导致身体各部分的比例发生变化。例如，美国"联邦委员会"[②] 查明，参加最近这次战争的海军士兵的腿比陆军士兵长出 0.217 英寸，虽然海军士兵平均要矮些；而海军士兵的手臂却短 1.09 英寸，所以，就其矮缩的身高而言，手臂的减短已越出了比例。海军士兵手臂的减短显然是由于它们的使用较大所致，这是一个料想不到的结果；但海军士兵的手臂主要用于拉牵，而不是用于支持重量。海军士兵的颈围和脚而厚度均比陆军士兵的大，但其腰围、胸围和臀部则较小。

如果在许多世代中都遵循同样的生活习性，那么，上述几种变异是否会变为遗传的，还不知道，但这是可能的。伦格尔[③] 把巴拉瓜河流域的印第安人的细腿和粗臂归因于他们一代连一代地几乎在独木舟中过一辈子，而下肢无所运动。另外一些作者对相近的事例做出了相似的结论。按照曾同爱斯基摩人长期在一起生活的克兰兹[④] 的说法，"当地人相信捕捉海豹时的机灵和敏捷（他们最高的技艺和美德）是遗传的；这确乎有些道理，因为一位著名的海豹捕捉手的儿子虽然幼年丧父，也显示了他的英雄本色。"在这一场合中，看来心理能力和身体构造都同等多地得到了遗传。有人断言，英国工人婴儿的手在降生时大于贵族婴儿的手[⑤]。根据四肢发育和颚部发育之间所存在的相关作用——至少在某些场合中是如此[⑥]，那些不大用手和脚劳动的阶级，其颚部由于这种原因可能缩

---

① 在我的《动物和植物在家养下的变异》第 2 卷，297—300 页中，为某些陈述给以根据；耶格尔（Jaeger）博士，"论骨的伸长生长"（Ueber das Längenwashthum der Knoch），《耶拿学报》（*Jenatschen Zeitschrift*），B. V，Heft. 1。

② 古尔德，同前书，1869 年，288 页。

③ 《巴拉圭的哺乳动物》（Säugethiere von Paraguay），1830，4 页。

④ 《格陵兰史》（History of Greenland）英译本，1767 年，第 1 卷，230 页。

⑤ 《近族通婚》（Intermarriage），亚力山大·沃克著（Alex. Walker），1838 年，377 页。

⑥ 《动物和植物在家养下的变异》第 1 卷，173 页（中译本，128 页——译注）。

小。优雅文明人的颚部一般小于辛勤劳动者或未开化人的颚部，乃是确定无疑的。但是，关于未开化人，如赫伯特·斯宾塞[1]先生所说的，在咀嚼粗糙的、未烹调的食物时较多地使用颚部，将会以一种直接方式对咀嚼肌及其所附着的骨发生作用。远在降生以前的胎儿，其足蹠的皮肤比身体其他任何部分的皮肤都厚[2]；简直不能怀疑，这是由于压力在一长系列世代中的遗传效果。

众所周知，钟表匠和雕刻匠容易近视，常过户外生活的人，特别是未开化人，一般是远视的[3]。近视和远视肯定都有遗传的倾向[4]。同未开化人相比，欧洲人的视力以及其他感官都较差，这无疑是在许多世代中减少使用之积累的和遗传的效果；因为伦格尔说过[5]，他曾反复地观察过同未开化的印第安人一起长大的、并同他们一起度过一生的欧洲人；尽管如此，这些欧洲人的感官在敏锐性上还不能同印第安人的相比。这位博物学家还观察到，美洲未开化人头骨上容纳几种感觉器官的腔比欧洲人的为大；这大概暗示着这等器官本身在大小上的相应差异。布鲁曼巴赫也曾谈到美洲未开化人头骨上的鼻腔很大，并且把这一事实同其显著敏锐的嗅觉能力联系在一起了。按照帕拉斯的材料，北亚平原上的蒙古人具有异常完善的感官；普里查德相信，他们的穿过颧骨的那一部分头

① 《生物学原理》(Principles of Biology)，第1卷，455页。

② 佩吉特，《外科病理学讲义》，第2卷，1853年，209页。

③ 海军士兵的视力不及陆军士兵，是一个奇特而料想不到的事实。古尔德博士证明确系如此《美国南北战争中的公共卫生报告》(Sanitary Memoirs of the War of the Rebellion，1869年，530页)；他以海军士兵的视野"受到船身长度和桅杆高度的限制"来解释这种情形。

④ 《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，8页。

⑤ 《巴拉圭的哺乳动物》，8、10页。我曾有很好的机会观察火地人的异常视力。再参阅劳伦斯(Lawrence)关于这个问题的意见，见《生理学讲义》，1822年，404页。吉拉德-托伊仑(M. Giraud-Teulon)最近搜集了大量有价值的证据来证明近视的原因是由于眼睛的过度疲劳。

骨非常宽阔，系由于他们的感觉器官高度发达所致①。

奎丑印第安人居住在秘鲁的巍峨高原上；杜比尼说②，由于不断地呼吸稀薄的空气，他们获得了异常大的胸和肺。其肺部细胞也比欧洲人的大而多。这些观察材料曾受到怀疑；不过福布斯先生对一个近似种族亚马拉人进行过多次身体测量，他们也在10,000到15,000英尺的高地上生活；他告诉我说③，他们在身体的粗细和长短方面都同他所看见过的所有其他种族的人有明显的差别。在他的测量表格中，每一个人的身高定为1000，其他测量数据则按此标准缩减。该表示明，亚马拉人的伸直的双臂比欧洲人的为短，比黑人的更短。同样地，他们的双腿也较短；他们表现了这样一种显著的特征，即每一个受到身体测量的亚马拉人，其股骨比胫骨为短。平均计算，股骨长度同胫骨长度之比为211对252，而同时受到测量的两个欧洲人，其股骨长度同胫骨长度之比则为244对230；在3个黑人中，其比例为258对241。同样地，上膊骨同前臂相比，也较短。和身体最近的四肢那一部分的这样缩短，如福布斯先生向我提示的，似乎是同躯干长度大大增加有关的一种补偿的情形。亚马拉人还呈现一些其他独特的构造之点，例如，脚后跟的凸出部分很小。

这些人如此彻底地适应了他们的寒冷而高峻的居住地，先前西班牙人把他们带到低下的东部平原时，现在为高工资所诱下来淘金时，以致死亡率可怕得高。尽管如此，福布斯先生还找到了少数幸存了两代的纯粹家族；他观察到，他们依然遗传了其固有的特性。但是，甚至用不到测量，也可明显看出这些特性完全缩小了；通

① 普里查德，《人类身体史》，布鲁曼巴哈之说见该书第1卷，1851年311页；帕拉斯的述说见该书第4卷，1844年，407页。

② 普里查德引用，见上书，第5卷，463页。

③ 福布斯先生的有价值的论文现发表于《伦敦人种学会杂志》(*Journal of the Ethnological Soc. of London*)，新辑，第2卷，1870年，193页。

过测量，发现他们的身体已不像居住在高原者的身体那样长；同时他们的股骨却变得多少长一些，胫骨也有所增长，但程度较轻。至于实际测量数据，可查阅福布斯先生的研究报告。根据这些观察，我以为毫无疑问的是，在一个非常高的地方居住了许多世代，直接地和间接地有诱使身体比例发生遗传的变异的倾向①。

人类在其后期生存阶段，虽然通过诸部分的增强使用或减弱使用没有发生很大变异，但以上所举的事实阐明，人类在这一方面的倾向并没有消失；我们确知，同样的法则也适用于低等动物。因此，我们可以推论，当人类的祖先在远古时代处于不断变动状况之下时，并且当他们由四足动物变成两足动物时，身体不同部分的增强使用或减弱使用的遗传效果很可能对自然选择起了很大的帮助作用。

发育的抑制

受到抑制的发育同受到抑制的生长有所不同，诸部分在前一状况下继续生长，同时依然保护其早期状态。各种畸形可以纳入这一项目之下；有些畸形，如裂口盖据知是偶尔遗传的。对我们的目的来说，只要谈谈沃尔格的研究报告② 中所描述的畸形小头白痴的受到抑制的脑部发育就足够了。他们的头骨较小，而且脑旋圈不及正常人的复杂。额窦，即眼眉上部的突起，非常发达，颚部以"异常"的程度向前突出；所以这等白痴同人类的低等模式多少相类似。他们的智力以及大多数心理官能，都极其薄弱。他们不能获得

① 维尔肯斯(Wilckens)博士最近发表一篇有趣味的论文，阐明生活于山岳地区的家养动物如何在其骨架上发生变异，见《农学周报》(*Landwirthschaft. Wochenblatt*，第10期，1869年)。

② 《关于畸形小头的研究报告》(Mémoire sur les Microcéphales)，1867年，50、125、169、171、184 198页。

说话的能力，而且完全不能长久地注意，但很善于模仿。他们是强壮的，而且显著地活泼，不停地嬉戏、跳跃和做鬼脸。他们爬楼梯时常手脚并用；而且非常喜欢攀登家具和树木。这就使我们想起，几乎所有的小孩都高兴爬树；这又使我们想起，原本为高山动物的小羔羊和小山羊多欢喜在小丘上跳来跳去，不管这小丘是多么小。白痴在其他一些方面也同次级动物相类似，例如，他们在吃每一口食物之前，都要小心地嗅味，对此已有几个事例的记载。有一个白痴被描述常用口帮助双手去捉虱子。他们的习性往往是猥亵的，没有礼貌的感觉；他们的身体显著多毛①，关于这一点曾经发表过几个事例。

返 祖

这里所举的事例有许多大概可以纳入这个题目之下。如果一种构造在其发育时受到了抑制，但仍继续生长，直到它和同一类群的某些成熟的低等成员的相应构造密切类似，那么，在某种意义上就可把这一构造看作是一个返祖的事例。一个类群的低等成员对其共同祖先大致是如何构成的，向我们提供了某种概念；简直不能相信一个复杂的部分在胚胎发育的早期阶段受到抑制后，还会继续生长到终于可以执行其固有功能，除非它在某一较早的生存期间获得了这种能力，而现今异常的，即受到抑制的构造在那时还是正常的。一个畸形小头白痴的简单头脑，就其同一只猿的头脑相类

① 莱科克博士总结了畜生般的白痴的特性，称他们为"畜类"(theroid)，见《心理科学杂志》(*Journal of Mental Science*)，1863年7月。斯科特(Scott)博士常常观察到低能儿嗅闻食物，见《聋与哑》(The Deaf and Dumb)第2版，1870年，10页。关于这个问题以及白痴的多毛性，参阅莫兹利博士的《躯体和精神》(Body and Mind)，1870年，46—51页。关于白痴的多毛性，皮内尔(Pinel)也曾举出过一个显著事例。

似来看，在这种意义上可以说它提供了一个返祖的事例①。还有

① 在《动物和植物在家养下的变异》(第2卷，57页)中，我把并非很罕见的妇女额外乳房的事例归因于返祖。由于这等附加的乳房一般都对称地位于胸部，乃使我认为这大概是一个正确的结论；特别是使我有此想法的还有一个事例，即，一个单独的有效乳房发生在一位妇女的腹股沟区(inguinal region)，她是另一位具有多余乳房的妇女的女儿。但是，现在我还发现在其他部位发生的异位乳房(mammae erraticae)(参阅普赖尔教授的《论生存斗争》；Prof. Preyer, Der Kampf um des Dasein, 1869年，45页)，如在背下、腋下和股上的这等乳房分泌的乳汁如此之多，以致可以把小孩养育起来。这样，附加乳房是由于返祖的可能性就大大削弱了；尽管如此，我依然认为这大概是正确的，因为两对乳房常常对称地位于胸部；关于这一点，我曾收到过几个事例的报告。众所周知，狐猴类正常情况下有两对乳房位于胸部。关于男人生有一对以上的乳房(当然是痕迹的)，曾经记载过5个事例；参阅《解剖学和生理杂志》(*Journal of Anat. and Physiology*)，1872年，56页，其中有汉迪赛德(Handyside)博士举出的一个事例说，有两兄弟显示了这种特性；再参阅巴特尔斯(Bartels)博士的一篇论文，载于《里卡兹和鲍依斯-雷蒙的文献集》(Reichert's and du Bois-Reymond's Archiv.)1872年，304页。巴特尔斯博士所提的事例之一：一个男人生有5个乳房，其中一个居中，正好位于脐眼之上；梅克尔·冯·黑姆斯巴赫(Meckel von Hemsbach)以为上述事例可以由某些翼手类(Cheiroptera)的居中乳房得到阐明。总之，如果人类的早期祖先不曾具有一对以上的乳房，则人类男女决不会有附加的乳房发育起来，这是毫无疑问的。

在《动物和植物在家养下的变异》(第2卷，12页)中，经过很大踌躇我还把人类和各种动物常见的多趾畸形(polydactylism)归因于返祖。导致我有此想法的，部分是由于欧文教授叙述某些鱼鳍类(Ichthyopterygia)具有5个以上的趾，所以我设想它们保持了原始状态；不过格根鲍尔(Gegenbaur)对欧文的结论表示怀疑，《耶拿学报》(*Jenaischen Zeischrift*，第5卷，第3册，341页)。另一方面，按照冈瑟(Günther)博士晚近提出的意见：角齿鱼(Ceratodus)的鳍有一列骨为中轴，在其两侧生有分节的骨质鳍刺，通过返祖，一侧或两侧可能会重现6个或更多的趾，承认这一点似乎不致有很大困难。祖特文(Zouteveen)博士告诉我说，曾经记载过这样一个事例：一个男人生有24个手指和24个足趾！导致我做出多余指的出现是由于返祖的结论，主要是根据如下的事实：多余指不仅是强烈遗传的，而且如我那时所相信的，在截断后还有

另外一些事例可以更加严格地纳入现在这个返祖项目之中。在人类所属于的那一类群的低等成员中正常发生的某些构造，偶尔也会在人类中出现，虽然在正常的人类胚胎中并没有发现过这些构造；或者，这些构造如果正常存在于人类胚胎中，但它却发育得很不正常，竟达到这一类群的低等成员的那种情况，虽然在后者这是正常的。下述例证将会使这些论述更加清楚明白。

各种哺乳动物的子宫都是由一个具有两个明显的孔和两个通道的双重器官，如在有袋动物中那样，渐渐变为一个单独的器官；它除去有一个微小的内褶以外，如在高等猿类和人类中那样，一点也不是双重的了。啮齿动物显示了这两个极端状态之间的一个完整的累进系列。所有哺乳动物的子宫都是由两个简单的原始的管发展而来的，在这两个管下方的部分形成了两个角；按照法尔博士所说的，"这两个角在其下端的愈合，形成了人类的子宫体；在没有子宫中央部分或子宫体的那些动物中，这两个角依然保持不相愈合的状态。在子宫发展的进程中，这两个角逐渐变短，最后终至消失，或者可以说，它们被吸收入子宫体之中。"甚至像低等猿类和狐猴类那样的高等动物，其子宫依然具有两个角。

且说，成熟的子宫具有两个角或者部分地分为两个器官的这等异常事例在妇女中并不罕见；按照欧文的说法，这等事例再现了某些啮齿动物所达到的那种"集中发育的阶段"。关于胚胎发育受到简单的抑制，以及继之而来的生长和完全的功能发育，我们在这里所看到的恐怕就是这种事例；因为这种局部双重的子宫每一边

再生的能力，就像低等脊椎动物的正常趾在截断后的情形一样。但我在《家养下的变异》(第2版)那部书中曾经说明，为什么我对记载下来的这等事例很少信赖。尽管如此，值得注意的是，由于受到抑制的发育同返祖是两种关系极为密切的过程，所以处于胚胎状态或受到抑制状态的各种构造——如裂口盖、双叉子宫等，往往伴随着多指畸形。梅克尔和小圣喜来尔都曾极力主张这一点。但现今最妥当的思路还是完全放弃以下的概念，即多余指的发育同返归人类某一低等构造的祖先有任何关系。

都能执行固有的妊娠功能。在另外一些更罕见的事例中，两个明显的子宫腔被形成了，每一个腔都具有它的固有的孔和通道①。在正常的胚胎发育期间从来不通过这等阶段；很难相信，虽然这也许不是不可能的，两个简单的、微小的、原始的管会知道如何（如果可以使用这一名词的话）生长成两个明显的子宫，每个子宫具有一个构造良好的孔和通道，而且还具有无数的肌肉、神经、腺和血管，如果它们不是像在现存有袋动物的场合中那样地曾在以往经历过一个相似的发育过程。谁也不会妄想，像妇女的畸形双重子宫那样的一种如此完善的构造仅仅是偶然的结果。但返祖原理——据此一种长久亡失的构造会被召回重生——大概可以用来说明其充分的发育，即使这种发育是在间隔了非常悠久的时光之后进行的。

卡内斯垂尼教授在讨论了上述事例以及各种相近的事例之后，得出了同上述一样的结论。他提出另外一个例子，是关于颧骨的②，这种骨在某些四手类动物以及其他哺乳动物中正常是由两个部分构成的。当人类胎儿在两个月的时候，颧骨就是这种状态；

① 参阅法尔(A. Farre)博士在《解剖学和生理学全书》(Cyclopaedia of Anatomy and Physiology)，第5卷，1859年，642页。欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，1868年，687年。特纳教授，《爱丁堡医学杂志》(*Edinburgh Medical Journal*)，1865年2月。

② 《摩德纳自然科学协会年报》，1867年，83页。卡内斯垂尼关于这个问题曾摘录了各种权威著作。劳里拉德(Laurillard)说，因为他发现两片颧骨的形状、比例以及它们的接合，在几具人类尸体和某些猿类中完全相似，所以他不能把这等部分的这种安排视为偶然。关于这同样的畸形，沙威奥提(Saviorti)博士发表过另一篇论文，载于《临床学通报》(*Gazzetta delle Cliniche*)，都灵(Turin)，1871年；他说，在成年人头骨上发现有分离痕迹的约为2%；他还说，突颚的头骨(并非雅利安种族的)较其他头骨更常发生这种情形。再参阅德勒伦则(G. Delorenzi)关于同一问题的著作，《颧骨畸形的三个新例》(Tre nuovi casi d'anomalia dell' osso *malare*, Torino)(都灵)，1872年。还有，莫索利(E. Morseli)的《关于颧骨的罕见畸形》(Sopra una rara anomalia dell' osso malare, Modena)(摩德纳)，1872年。关于这块骨的分离，格鲁勃最近写了一本小册子。我之所以举出这些参考书目，是因为有一位评论家没有任何根据毫无顾忌地对我的叙述表示了怀疑。

通过发育的抑制，有时在成年人中、特别是在突颚的低等种族中还保留着这种状态。因此，卡内斯垂尼断定，人类某些古代祖先的这种骨一定正常地分为两个部分，而在以后却变得融合在一起了。人类的额骨是由单独一片构成的，但在胚胎中、在小孩中而且在差不多所有低等哺乳动物中，额骨是由两片构成的，由一条明显的缝分开。在人类达到成熟期之后偶尔还多少明显地保留着这条缝；这种情形在古代的头盖骨比在近代的头盖骨中更加常见，特别是如卡内斯垂尼所观察的，在那些从冰碛中发掘出来的、属于短头模式的头盖骨中尤其常见。在这里就像在颧骨的近似事例中那样，他再次得出了同样的结论。在这个事例中，以及在就要谈到的另外一些事例中，古代种族比近代种族在一定性状上，更加常常接近低等动物的原因，看来是由于后者在漫长的系统线上距离他们的早期半人类祖先多少要远一点儿。

人类的同上述多少相似的各种其他畸形，曾被不同作者提出来作为返祖的事例；不过对此等事例似乎还有不少疑问，因为，在我们发现这等构造正常存在以前，我们势必在哺乳动物系统中下降到极低的地位①。

人类的犬齿是完全有效的咀嚼工具。但他们的真正犬齿性状，如欧文② 所说的，为“齿冠呈圆锥形，其末端为一钝点，外面凸形，内面扁平或稍凹，内面基部有一个微小的突起。黑色种族、特别是

① 小圣·伊莱尔在他的《畸形志》(Hist. des Anomalies)第 3 卷，437 页中举出了一系列的事例。一位评论家对我大加指责，说我没有讨论过见于记载的有关各种部分发育受到抑制的大量事例(《解剖学和生理学杂志》(*Jour. of Anat. and physio.*，1871 年，366 页)。他说，按照我的理论，“一个器官在其发育中的每一个瞬变状态，不仅是为了达到一种目的的一种手段，而其本身也曾一度是一种目的。”在我看来，这种说法不一定对。为什么在发育早期发生的变异同返祖没有关系？而这等变异如果有任何一点用处，如缩短和简化发育过程，大概都会被保存下来并得到积累。还有，为什么有害的畸形，例如同以往生存状况没有任何关系的萎缩的或过度肥大的诸部分，不在早期以及成熟期发生？

② 《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，1868 年，323 页。

澳洲土人最好地显示了这种圆锥形齿冠。犬齿较切齿埋植得更深，而且牙根更强固。"然而，对人类来说，这个齿已不再成为撕裂敌物或猎物的特殊武器了；所以，就其固有的机能而言，不妨把它视为残迹的。在人类头骨的任何大型采集品中，如赫克尔[①]所观察的，总可以找到犬齿相当突出于其他齿之外的一些头骨，其方式就像类人猿的犬齿一样，不过程度较轻而已。在这等场合中，上颚的齿间空位是留待容纳另一颚的犬齿。瓦格纳所绘的卡菲尔人头骨的齿间空位异常宽阔[②]。同近代头骨比较，古代头骨受到检视的非常之少，但至少已有三例表明其犬齿非常突出，这确是一个有趣的事实；据说脑雷特人的颚是异常大的[③]。

在类人猿中，仅雄者具有充分发达的犬齿；但在大猩猩中并且程度较轻地在猩猩中，雌者的犬齿也相当地突出于其他齿之外；所以，我所确信的妇女有时有相当突出的犬齿这一事实，对于相信人类犬齿偶尔非常发达乃是返归猿类般的祖先，并不是一个严重的障碍。如果有人轻蔑地拒绝相信他自己的犬齿形状以及其他人的偶尔非常发达的犬齿乃是由于我们早期祖先曾经装备有这等可怕的武器，那么他大概在冷笑中却揭示了他自己的由来。因为，人类虽然不再打算或者没有能力再使用这等齿作为武器，但还会无意识地收缩他的"嗥叫肌"（贝尔爵士命名[④]），以便把犬齿露出，准备动作，就像一只狗准备咬架那样。

为四手类或其他哺乳动物所固有的许多肌肉偶尔也会在人类发育。沃拉克威契教授[⑤]检查过 40 个男性尸体，发现其中 19 个具

① 《普通形态学》，1866 年，第 2 卷，160 页。
② 卡尔·福格特，（Carl Vogt），《人类讲义》，英译本，1864 年，151 页。
③ 卡特·布莱克（C. Carter Blake），《关于脑雷特人的一只颚》，见《人类学评论》，1867 年，295 页。沙夫豪森（Schaaffhausen），同前杂志，1868 年，426 页。
④ 《表情解剖学》（The Anatomy of Expression），1844 年，110、131 页。
⑤ 卡内斯垂尼教授引用，见《摩德纳自然科学协会年报》1867 年，90 页。

有一种被他称为"坐趾肌"的肌肉；3个具有代表这种肌肉的韧带(ligament)；其余18个连一点这种肌肉的残迹都没有。在30个女性尸体中，仅有两个在两侧具有这种发达的肌肉，另外3个只有韧带的残迹。所以，这种肌肉在男性中看来远比在女性中普遍得多；根据人类起源于低等生物类型的信念，这个事实就是可以理解的了；因为在几种次级动物中，曾发现过这种肌肉，凡是具有这种肌肉动物，它的唯一作用即在于帮助雄者的生殖行为。

伍德先生在他的一系列有价值的论文中①，详细地描述了大量的人类肌肉变异，这等肌肉都同低等动物的正常构造相类似。同我们最近亲属四手类动物所正常存在的肌肉密切类似的那些肌肉真是多得举不胜举。有一具男性尸体，体格强壮，头骨构造良好，在其身上观察到的肌肉变异不下7处之多；所有这些都明显地代表了各种猿类所固有的肌肉。譬如说，这具男尸在颈部两侧各具一块真正的、强有力的"锁骨提肌"，就像我们在所有猿类中所看到的那样，据说在60具人类尸体有一具有这种肌肉②。再者，这具男尸还有"一块特殊的趾蹠骨展肌，正如赫胥黎教授和弗劳尔先生所阐明的，高等的和低等的猿类普遍具有这种肌肉。"我仅提出两个补充的事例；在所有次级哺乳动物中都可以找到肩峰底肌，而且它似乎同四足行路的步法相关③，在60具人类尸体中有一具有这种肌

① 任何人要是想知道人类的肌肉常常发生变异，而且终于变得同四手类动物的肌肉相似，都应该读一读这些论文。下列参考文献同我的著作中少数几点有关：《皇家学会会报》，第14卷，1865年，379—384页；第15卷，1866年，241、242页；第15卷，1867页，544页；第16卷，1868年，524页。我在这里可以补充一点，穆里博士(Dr. Murie)和米伐特先生在他们有关狐猴类的研究报告中曾阐明，这等动物——四手类的最低层成员——的某些肌肉非常容易变异。在狐猴类中，有一些肌肉渐次变得同等级更低的动物的构造相似。

② 再参阅麦克利斯特教授的文章，见《爱尔兰皇家学会会报》(*Proc. R. Irish Academy*)，第10卷，1868年，124页。

③ 钱普尼斯(Champneys)先生，《解剖学和生理学杂志》(*Journal of Anat. and Phys.*)，1871年11月，178页。

肉。布雷德利先生①发现一个男人的两只脚都有一块"第五蹠骨展肌";在此之前没有记载过人类具有这种肌肉,但它在类人猿中却是永远存在的。手和臂——这是人类特性非常显著的部分——的肌肉极端容易变异,结果变得同次级动物的相应肌肉类似②。这种类似或是完全的,或是不完全的;在不完全的场合中,它们显然具有过渡性质。某些变异在男人中较普遍,另外一些变异则在女人中较普遍,对此还不能举出任何理由。伍德先生描述了大量变异之后,做出如下意义深远的陈述:"在诸器官的沟中或沿着各个方面延伸的肌肉构造显著脱离正常的模式,一定暗示有某种未知的因素,这对于一般的、科学的解剖学的全面知识有极大的重要性。"③

这一未知因素乃是返归以往的生存状态,可以被认为是有最高度可能性的④。人类和某些猿类之间如果没有遗传的连接关系,要说一个人的畸形肌肉同猿类的肌肉相似者不下于7处之多,系出于偶然,则是完全不可相信的。另一方面,如果人类是从某一猿

① 《解剖学和生理学杂志》,1872年5月,421页。

② 麦克利斯特教授,《爱尔兰皇家学会会报》,121页。他曾把他的观察材料制成表,发现最常出现肌肉畸形的是在前臂,其次在面部,再其次在足部,等等。

③ 霍顿(Haughton)牧师举出一个有关人类拇指长屈肌(flexor pollicis longus)的显著事例之后,接着说道(《爱尔兰皇家学会会报》,1864年6月27日,715页)"这个显著的例子阐明,人类拇指以及其他手指的腱(tendon)的排列有时具有猕猴的特性;但这样一个事例究竟应被视为猕猴向上变为人,抑人向下变为猕猴,或者是一种先天的反常现象,我还不能说。"这位富有才华的解剖学者和进化论的强硬反对者竟会承认他的任何一个最初命题的可能性,听到这一点已经可以使人满意了。麦克利斯特尔教授也曾描述过拇指屈肌以它们同四手类的同样肌肉的关系而引人注目(《爱尔兰皇家学会会报》,第10卷,1864年,138页)。

④ 在本书第1版问世以后,伍德先生发表这一篇专题报告(《哲学学报》,*Phil. Transactions*,1870年,83页),阐明人类的颈、肩、胸的肌肉变异。他在这里指出,这些肌肉是何等极其容易变异,而且这些肌肉又何等常常而密切地同低类动物的正常肌肉相似。他总结地说道:"如果我成功地阐明了人类尸体中所发生的比较重要的变异类型,以充分显著的方式显示了它们可以作为达尔文的返祖原理或遗传法则在解剖科学这一部门中的证据和例子,那就足以达到我的目的了。"

类般的动物传下来的，那么就举不出任何有根据的理由来说明某些肌肉为什么不会经过成千上万的世代之后而突然重现，其方式就像马、驴、骡经过数百代、更可能经过数千代在腿部和肩部突然重现其暗色条纹一样。

这等各式各样的返祖事例同第一章中所举出的残迹器官事例的关系是如此密切，以致把其中的许多事例放在那里或这里，都无可无不可。例如，一个具有角的人类子宫可以被说成是以一种残迹状态代表某些哺乳动物同一器官的正常状态。人类的某些残迹部分，如男女两性的尾骨以及男性的乳房，是一直存在的；还有另外一些残迹部分，如髁上孔，仅偶尔出现，因而可以被纳入返祖项下。这几个返祖的构造以及那些严格是残迹的构造揭示了人类是从某一低等类型以准确无误的方式传下来的。

相关变异

人类就像次级动物那样，他的许多构造如此紧密关联，以致当某一部分发生变异后，另一部分也要跟着发生变异；在大多数场合中，我们对此还不能举出任何理由。我们无法说，是否这一部分支配那一部分，或者，是否二者受某一较早发达的部分所支配。各种畸形，正如小圣·希莱尔所反复坚决主张的那样，就是这样紧密地连接在一起的。同源构造特别容易一齐变异，就像我们在身体两侧和上下肢所看到的情形那样。梅克尔很久以前就曾说过，当手臂肌肉脱离其固有模式时，它们几乎永远模拟腿部的肌肉；相反地，腿部肌肉也是如此。视觉器官和听觉器官，齿和毛，皮肤和毛的颜色，体色和体质，或多或少都是相关的①。最初是沙夫赫生教授注意到

① 这几段叙述的根据，见我的《动物和植物在家养下的变异》第 2 卷，320—335 页。

显然存在于肌肉结构和眶上脊之间的关系，眶上脊乃是人类较低种族的显著特性。

除了多少可能地纳入上列项目中的变异以外，还有一大类可以暂时称为自发的变异，因为就我们的无知程度来说，它们似乎是在没有任何激发的原因下发生的。然而可以阐明，这等变异无论具有微小个体差异，或者具有强烈显著而突然的构造离差，其决定于生物体质远比决定于它所处的外界条件性质要多得多[①]。

增长速度

文明国家的人口据知在适宜条件下，如在美国，25 年可增加一倍；按照尤勒的计算，12 年稍微多一点就可增加一倍[②]。如果按照前一项增长速度，则现今的美国人口（3 千万）在 657 年间就会如此稠密地布满整个水陆形成的世界，以致 4 个人只能占一平方码的面积。对人类不断增长的首要的或基本的抑制，是获得生活资料以及舒适生活的困难。根据我们所看到的，可以推论情况确系如此，例如在美国，那里生活容易，而且有大量空间。如果在大不列颠这等生活手段突然加倍，那么我们的人口也会迅速加倍。在文明国家里，这种首要的抑制主要是以限制婚姻来完成的。在最贫困的阶级中，婴儿的较大死亡率也是很重要的；拥挤而拙劣的房屋中的一切年龄的居民，由于各种疾病同样也有较高的死亡率。在位于适宜条件下的国家里，严重的流行病和战争很快会起到平衡作用，甚至超过平衡。移民也有助于暂时的抑制，但对极贫困的阶级来说，这在任何程度上都没有作用。

---

① 在我的《动物和植物在家养的变异》第 2 卷第 23 章中对这整个问题进行了讨论。

② 参阅永远值得纪念的《人口原理试论》(Essay on the Principle of Population)，马尔萨斯(Malthus)牧师著，1826 年，第 1 卷，6、517 页。

正如马尔萨斯所指出的，可以有理由设想，野蛮种族的生殖力实际上低于文明种族。关于这个问题，我们肯定不知道什么，因为对未开化人没有进行过人口调查；但从传教士以及其他同这等民族长久相处的人士所提出的一致证据来看，他们的家庭通常是小的，大家庭不多见。那里的妇女据信给婴儿哺乳的时期很长，上述情形由此或者可以得到部分的解释；但，高度可能的是，未开化人要经历很大的苦难，而且不会得到像文明人那样多的营养丰富的食物，他们的生殖力实际上大概要差一些。我在前一著作中①曾指出，所有我们家养的兽类和鸟类以及所有我们的栽培植物，其能育性均比处于自然状况下的相应物种为高。动物突然被供给过剩的食物，或者长得很肥，以及大多数植物突然从瘠薄的土地被移植到肥沃的土地上，都会或多或少变为不育的；但以此来反对上述结论是毫无根据的。所以，我们可以预期，文明人的生殖力要比野蛮人的为高，在某种意义上可以说文明人是高度家养的。文明民族的增高了的生殖力，就像我们的家养动物那样，变成一种遗传的性状，也是非常可能的；至少已经知道，人类生产双胞胎的倾向在一些家族中是可遗传的②。”

尽管未开化人的生殖力低于文明人，毫无疑问他们还会迅速增加，如果他们的人数没有在某些方面受到严格限制。关于这个事实，桑塔尔人或印度山区部落最近提供了一个良好的例证；因为，正如亨特先生所阐明的③，自从施行种牛痘、其他瘟疫有所缓和以及战争切实受到遏制之后，他们以异常的速度增加了。然而如果这等未开化人不是进入邻接地区做雇工，他们人口的增加大概是不可能的。未开化人几乎都结婚；但有某种谨慎的约束，因为他们

① 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，111—113 页、163 页。

② 塞奇威克(Sedgwick)，《英国及国外外科学评论》(*British and Foreign Medico-Chirurg Review*)，1863 年 7 月，170 页

③ 《孟加拉农村年报》(*The Annals of Rural Bengel*)，亨特著，1868 年，259 页。

般都不在最早可能的年龄结婚。年轻人常常需要显示出他能够养活一个妻子后才可以结婚；他们一般需先挣得她的身价，以便从她父母那里把她买来。获得生活资料的困难，对未开化人远比对文明人以更加直接得多的方式偶尔限制其人口的数量，因为所有部落都周期地遭受饥馑的危害。这时，未开化人被迫去吃更恶劣的食物，他们的健康难免受到损害。关于他们在遭到饥馑后或在饥馑时肚子凸出和四肢消瘦，已经发表过许多记载。于是，他们被迫到处流浪，如我在澳大利亚听到的，这时他们的婴儿要大量死亡。由于饥馑是周期的，主要决定于非常的季节，因而所有部落的人口数量一定波动很大。他们不能稳定地、有规律地增长，因为那里的食物供给不会人为地增加。未开化人当穷迫过甚时，就彼此侵犯领地，结果引起战争，事实上他们之间的战争几乎从未绝迹过。他们在陆地和水上寻觅食物时，容易遇到许多意外事情；在一些地方他们受到猛兽的危害很大。在印度由于虎患，有些地区的人口减少了。

马尔萨斯曾讨论过这几种抑制，但他对很可能是其中最重要的一种抑制，即杀婴、特别是杀女婴以及堕胎，却强调得不够。今天，世界上许多地方都盛行此事；据伦南先生说①，以往杀婴的规模还要更大。此事的发生似乎由于未开化人认识到养活所有生下来的婴儿是困难的，勿宁说是不可能的。淫乱生活也可以加入上述抑制；不过这还是被作为生活手段所引起的；但有理由相信，在某些场合中(例如在日本)，这是作为一种控制人口的手段而有意地受到鼓励。

如果我们回顾一下极其远古的时代，在人类还没有达到人的地位以前，他大概要比今天最低等的未开化人更多地受本能而更少地受理性所引导。我们早期的半人类祖先不会实行杀婴或一妻

① 《原始婚姻》(Primitive Marriage)，1865年。

多夫制；因为次级动物决不会如此违反常情[①]，以导致它们经常地杀害自己的后代，或全然无所妒嫉。那时婚姻不会受到谨慎的限制，男女双方在年龄很轻的时候就会自由结合。因此，人类的祖先就趋向于迅速增殖；但某种抑制，无论是间歇的或经常的，一定曾经使其数量下降，甚至比对现今的未开化人还要剧烈。这等抑制的确切性质是什么，我们还无法说出，就像我们对大多数其他动物的情况无法说出那样，我们知道，马和牛不是多产的动物，当最初纵放于南美时，它们便以极大的速率增殖。象为所有已知动物中繁育最慢者，而在几千年之内其子孙便可充满整个世界。各种猴的群体的增殖一定要受到某种方法的抑制；但不像布列姆所说的，是由于猛兽的侵袭。谁都不会假设美洲的野马和野牛的实际繁殖力最初以任何明显的程度增大了，其后由于它们充满了各个地区，这样其繁殖力便缩小了。毫无疑问，在这一场合以及在所有其他场合中，多种抑制同时发生作用，而且在不同的环境条件下有不同的抑制作用；因不良季节而发生的周期的饥馑可能是所有抑制中最重要的。对人类的早期祖先来说，亦复如此。

自然选择

现在我们已经知道人类的身体和心理都是可变的；这就像在低等动物中那样，是由同样的原因直接或间接地引起的，并且服从

① 一位作者在《旁观者》(Spectator，1871 年 3 月 12 日，320 页)对这一段进行了如下的批评："达尔文先生被迫再倡导人类堕落的新学说。他阐明高等动物的本性远比未开化人种的习惯更为高尚，所以他所再倡导的学说实质上乃是一种正教类型的，对此他似乎并未觉察；作为一种科学假说，他提出这样的学说，即，暂时的，但长期延续的道德败坏的原因，乃是由于人类获得知识，未开化部落的腐败风俗、特别是婚姻表明了这一点。有一种犹太传说，谓人类的道德堕落是由于夺得知识，这是他的最高本性所禁止的，其说有过于此否？"

同样的规律。人类广布于地球的表面，在他们不断地迁徙期间①，一定接触到极其多种多样的外界条件。在这一半球的火地、好望角、塔斯马尼亚的居民，以及在另一半球的北极地区的居民，当到达他们现今的家乡之前，一定经历过多种气候，而且多次改变了他们的习惯②。人类的早期祖先一定还像其他动物那样，趋向于增殖到超越他们的能生存的范围之外；所以他们一定不断进行生存斗争，从而要受严格的自然选择法则所支配。所有种类的有利变异将这样偶尔地或经常地被保存下来，而有害变异则被淘汰。我所指的并非强烈显著的构造离差，这只是间或发生的，我所指的仅是个体差异而已。例如，我们知道决定我们运动能力的手和脚的肌肉，就像低等动物的那样③，是容易不断变异的。那么，如果居住在任何地方的、特别是居住在外界条件发生了某种变化的一处地方的人类祖先分为相等二部分，其中一部分的所有个人由于他们的运动能力最适应于获得生存资料或保卫自己，他们就会比天赋较差的另一部分平均存活的人数较多，而且生下来的后代也较多。

即使现今在最野蛮状况下生活的人类，也是这个地球上曾经出现过的最占优势的动物。他比任何其他生物分布更广；所有其他生物都屈服在他的面前。这种巨大的优越性显然归功于他的智能，而且归功于他的社会性——这引导他去帮助和保卫他的伙伴，同时还归功于他的身体构造。这等特性的异常重要已由生活斗争的

---

① 关于这种效果，参阅斯坦利·杰文斯(W. Stanley Jevons)的优秀记载，《根据达尔文学说的推论》(A Deduction from Darwin's Theory)，载于《自然》(*Nature*)，1869年，231页。

② 拉瑟姆(Latham)，《人类及其迁徙》(Man and his Migrations)，1851年，135页。

③ 默里和米伐特二位先生在其《狐猴类的解剖》(《动物学会会报》，第7卷，1869年，96—98页)一文中说道，"有些肌肉在分布上是如此不规则，以致无法恰当地把它们归入上述任何类群中。"这等肌肉甚至在同一个体的两侧也互不相同。

公断所证明。通过他的智力，有音节的语言发展了；他的惊人的进步主要取决于此。正如昌西·赖特先生所指示的①，“语言官能的心理分析阐明，语言的最小熟练程度比任何其他方面的最大熟练程度可能需要更多的脑力。”他发明了而且能够使用各种武器、工具、陷阱等等，借此他保卫自己，杀死或捕捉动物，并且用其他方法去获得食物。他曾建造木筏或独木舟从事捕鱼，或渡海到邻近肥沃的岛屿。他曾发明取火的技术，借此，把坚硬而多纤维的植物根弄成可消化的，并且把有毒的植物根或别的部分弄成无毒的。取火的发明始于有史以前，这大概是人类在语言以外的最大发明。这几种发明乃是他的观察、记忆、好奇、想象以及推理诸种能力的直接结果，处于最野蛮状况下的人类凭借这些发明就可以变为睥睨一切的了。所以，我不能理解华莱士先生②为什么要主张：“自然选择只能把略优于猿类的脑赋予未开化人。”

对人类来说，智力和社会性虽然具有最高的重要性，但我们必须不要低估他的身体构造的重要性，本章下余部分将专门讨论这个问题，关于智力和社会性即道德官能的发展，将在以下两章进行

---

① 《自然选择的范围》(Limits of Natural Selection)，见《北美评论》(*North American Review*)，1870 年 10 月，295 页。

② 《每季评论》(*Quarterly Review*)，1869 年 4 月，392 页。这个问题在华莱士先生的《对自然选择学说的贡献》(Contributions to the Theory of Natural Selection、1870 年)中进行了更充分的讨论，本书所引用的一切论点均在该书重予发表。《人类随笔》(The essay on Man)曾受到欧洲最著名的动物学者克拉帕雷德(Claparède)教授的巧妙批评，见《环球书库》(Bibliothèque Universelle)，1870 年，6 月。本书所引用的华莱士的话，将使每一个读过他的《从自然选择学说推论人种的起源》(The Origin of Human Races deduced from the Theory of Natural Selection)那篇著名论文的人感到惊异，该文最初发表于《人类学评论》(1864 年 5 月，158 页)。关于这篇论文，我不能不在这里引用卢伯克(Lubbock)爵士的最公正的评论(《史前时代》，Prehistoric Times，1865 年，479 页)，他说，华莱士先生“以特有的无私精神把自然选择的概念无保留地归功于达尔文先生，虽然，如所周知，他独立地发现了这一概念，而且同时予以发表，即使他叙述得不如达尔文详尽。”

讨论。

甚至准确地使用锤子，也并非一件容易的事，每一个学过木工的人都会承认这一点。像火地人那样，把一块石头准确地投掷在目标上，以保卫自己或击毙鸟类，则需要手、臂、肩各种肌肉高度完善的协同动作，而且，还需要敏锐的感觉。一个人投石或掷枪以及进行许多其他动作，必须双足站稳；这又需要许多肌肉的完善的相互适应。把一块燧石削成最粗糙的器具，或者用一块骨头制成钩枪或钓针，则需要使用完善的手；因为，正如最有才能的鉴定家斯库克拉夫特先生[①]所指出的，把碎石片制成刀、矛或箭头，表明要有"异常的才能和长久的实践"。原始人实行分工的事实在很大程度上证明了这一点；并非每一个人都制造他自己的石器或粗糙的陶器，而是某些人似乎专门从事这种工作，无疑用此来交换他人狩猎之所得。考古学者们相信，在我们祖先想到把削碎的燧石磨成光滑的器具之前，曾经历了非常悠久的岁月。几乎谁都不会怀疑，一种类人的动物，如果具有充分完善到可以准确投掷石块的手和臂，或者可以把一块燧石制成一种粗糙的器具，仅就机械技能而言，就能通过充分的实践制作文明人所能制作的差不多任何器物。在这方面，手的构造可以同发音器官的构造相比，猿类的发音器官用于发出各种带有信号的叫声，有一个属，可以发出音乐般的声调；但是在人类，密切相似的发音器官通过使用的遗传效果却适于发出有音节的语言了。

现在我们转来谈谈人类的最近亲属，也就是我们早期祖先最好的代表；我们发现四手类的手是按照人手的同样一般型式构成的，但对多种多样用途的适应，则远远不够完善。用于行走，人手不

① 劳森·泰特(Lawson Tait)在他的《自然选择法则》(Law of Natural Selection)一文中引用，见《都柏林医学季刊》(*Dublin Quarterly Journal of Medical Science*)，1869年2月。凯勒(Keller)也引述过同样的效果。

如狗的脚；从黑猩猩和猩猩那样的猴类可以看到这种情形，它们用手掌的外缘或指关节行走[1]。然而它们的手却极好地适于爬树。猴类用拇指在一边，其余四指和手掌在另一边以抓住细树枝或绳索，其方式和我们的一样。这样，它们还能把相当大的东西，如瓶颈，举到嘴边。狒狒用手翻转石头，挖掘树根。它们可以用拇指对着其余四指抓住坚果、昆虫或其他小东西，这样，它们无疑还会从鸟巢中掏取鸟卵和小鸟。美洲猴在树枝上碰打野生橙，直到果皮裂开，然后用双手的指头把果皮撕去。它们以一种狂暴的状态用石块把坚硬的果实砸开。其他猴用拇指把贝壳掰开。它们用手指拔出身上的树棘和果刺，而且彼此捉身上的寄生虫。它们从高处把石头滚下，或者向它们的敌对者投掷石块；尽管如此，它们在做各种这样动作时却非常笨拙，就像我亲眼所见的那样，它们完全不能准确地把石头投出去。

有人说，因为猴类"抓握东西非常笨拙"，所以"一种专化更加差得多的抓握器官"对它们来说[2]，其用处和它们具有现在那样的手是同等美好的；在我看来，这种说法非常不正确。相反，我看没有理由可以怀疑，一双构造更加完善的手，如果不致使它们因此爬树较差，大概对它们还是有利的。我们可以猜想，完善得像人类那样的手，大概不利于攀登；因为世界上大多数树栖的猴类，如美洲的蛛猴、非洲的疣猴以及亚洲的长臂猿，或者拇指缺如，或者足趾部分地结合，所以它们的四肢已变成纯粹用于把握的钩状物了[3]。

---

① 欧文，《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，71 页。

② 《每季评论》，1869 年 4 月，392 页。

③ 合趾长臂猿（*Hylobates syndactylus*），如这个名字所表示的，它的两个足趾固定地结合在一起；布赖茨（Blyth）先生告诉我说，敏捷长臂猿（*H. agilis*）、白手长臂猿（*H. lar*）、银灰长臂猿（*H. leuciscus*）的足趾有时也是如此。疣猴是严格树栖的，而且异常活泼（布列姆，《动物生活》，第 1 卷，50 页），但它是否比近缘属的物种更善于攀登，我还不知道。值得注意的是，世界上树栖性最强的动物——树懒（sloths）的脚同钩异常相似。

灵长类一大系的某些古代成员，由于谋生的方式发生变化，或者由于周围环境发生某种变化，一旦达到较少树栖的地步，它的惯常的行动方式就会跟着改变；这样，就要使它更加严格地四足行动或二足行动。狒狒出没于丘陵区或山区，只是在必要时，才攀登高树[1]；所以它们获得了差不多像狗那样的步法。仅有人类变为二足动物，我以为，我们可以部分地了解他怎样取得最显著特性之一的直立姿势。没有手的使用，人类是不能在世界上达到现今这样支配地位的；他的手是如此美妙地适于按照他的意志进行动作。贝尔爵士[2] 坚决认为，"人手提供一切工具，手与智慧相一致便使人类成为全世界的主宰。"但是，只要手和臂惯常地用于行进和支持身体的全部重量，或者，如上所述，只要手和臂特别适于爬树，那么，它们就几乎不能变得完善到足以制造武器或把石头和矛枪准确地投掷到目标上的程度。手的这种简单使用，还会使触觉变钝；而手的妙用大部分取决于触觉。仅仅由于这些原因，变为二足动物对人类也是有利的；不过双臂和整个身体上部的自由，对许多动作的进行乃是必不可少的；而且为了这个目的，他必须稳固地用脚站立。为了得到这种巨大利益，人类的脚变得扁平了；而且大足趾发生了特殊的改变，这使它几乎完全失去了把握的能力。因为手变得完善到适于把握，脚就应变得完善到适于支承和行走，这同通行于整个动物界的生理分工原理是相符合的。然而在有些未开化人中，脚还没有完全失去它的把握能力，他们的爬树方式以及手的其他用法阐

① 布雷姆《动物生活》(*Thierleben*)，第1卷，80页。

② 《人手》(The Hand)，见《布里奇沃特论文集》(Bridgewater Treatise)，1833年，38页。

明了这一点①。

无可怀疑，用脚稳固地站立以及手与臂的自由对于人类是一种利益，这已由他在生活斗争中的卓越成功所证明，那么，要说人类变得愈来愈直立或二足行动对他的祖先没有利益，我看是没有任何理由的。这样，他们便能用石块或棍棒去防卫自己，攻击他们所要捕食的动物，或用其他方法获取食物。从长远观点来看，构造最好的个体将会取得最大的成功，而且大量生存下来。如果大猩猩和少数亲缘关系密切的类型绝灭了，那么，可能会有这样的争辩：一种动物不能由四足的逐渐变为二足的，因为处于一种中间状态的所有个体都非常不适于行走；而这一争辩是富有巨大的说服力和明显的真实性的。但是我们知道（这是值得很好思考的），类人猿现在实际上是处于一种中间状态；而且总的看来，无疑它们是很适应于它们的生活条件的。例如，大猩猩以左右摇摆的蹒跚脚步奔跑，但在行进时通常是用两只弯垂的手来支撑。长臂猿有时把双臂用作好像拐杖一般，它们的身体在两臂之间悬摇而前，某些种类的长臂猿在不经教导的情况下就能还算迅速地直立而行或奔跑；然而它们行动笨拙，远远不及人走得稳当。总之，在现存的猴类中，我们看到一种介乎四足动物和二足动物之间的行进方式；但是，正如一位没有偏见的鉴定家② 所坚决主张的，类人猿在构造上距离二足动物比距离四足动物更近。

由于人类的祖先变得越来越直立，他们的手变得越来越适于

---

① 赫克尔（Hackel）关于人类变为二足动物的步骤进行了精彩的讨论[《自然创造史》(Natürliche Schöpfungsgeschichte)，1868年，507页]。比希纳博士关于人把脚用为把握器官举出了一些好例子[《达尔文学说讨论集》，(Conferences sur la Théorie Darwinienne)，1869年，135页]；他还写过高等猿类的行进方式，我在下一节将提到；关于这个问题，可参阅欧文的《脊椎动物解剖学》，第3卷，71页。

② 布洛尔（Broca）教授，《尾椎的构造》(La Constitution des Vertèbres caudales)，见《人类学评论》(La Revue d'Anthropologie)，1872年，26页（单行本）。

把握和其他用途，他们的脚和腿同时变得适于稳固地支承和行进，所以构造上其他无穷的变化就是不可避免的了。骨盆势必加阔，脊骨呈异样弯曲，头安置在已经改变的位置上，一切这等变化都是人类所曾经完成的。沙夫豪森教授① 主张，"人类头骨上强有力的乳头状突起就是他的直立姿势的结果"；猩猩、黑猩猩等都没有这等突起，大猩猩的比人类的为小。在这里还可以接着谈谈与人类直立姿势有关联的各种其他构造。很难确定，这等相关变异有多大程度是由于自然选择的结果，有多大程度是由于某些部分增强使用的效果，或者，有多大程度是由于某一部分对另一部分所起的作用。毫无疑问，这等变化方式经常是协同进行的：例如，某些肌肉及其所附着的骨节当由于惯常使用而扩大时，这就阐明了某些动作是惯常进行的，而这等动作一定是有益的。因此，进行该动作最好的个体乃有较多数量生存下来的倾向。

手和臂的自由使用，部分是直立姿势的原因，部分是其结果，这似乎以一种间接的方式导致了构造的其他改变。如前所述，人类的早期男性祖先大概具有大形的犬齿；但是，由于他逐渐获得了使用石块、棍棒或其他武器以同敌对者或竞争者进行战斗的习惯，他们就越来越少地使用他们的颌和牙。在这种情况下，颌与牙将会缩小，无数近似的事例使我们感到差不多确系如此。在此后一章中，我们将会遇到密切类似的例子，表明雄性反刍动物犬齿的缩小和完全消失显然同角的发达有关系，而马类，则同它们用门牙和蹄进行斗争的习惯有关系。

正如吕蒂迈尔② 和其他人所坚决主张的，在成年的雄性类人

① 《论头骨的原始形态》(On the primitive Form of the Skull)，译文见《人类学评论》(*Anthropological Review*)，1868 年 10 月，428 页。欧文论高等猿类的乳头状突起，《脊椎动物解剖学》，第 2 卷，1866 年，551 页。

② 《动物界的边际：用达尔文学说进行的观察》(Die Grenzen der Thierwelt，eine Betrachtung zu Darwin's Lehre)1868 年，51 页。

猿中，正是由于颌肌的非常发达对头骨所产生的效果，才使它在许多方面同人类有如此重大差异，并且使这种动物的容貌确实可怕。所以，在人类祖先的颌与牙缩小之后，成年者的头骨就会越来越同现存人类的相类似。正如我们以后将要看到的，雄者犬齿的大大缩小几乎肯定要通过遗传对雌者牙齿发生影响。

由于心理官能的逐渐发达，脑几乎肯定要变大。我推测没有人会怀疑，人脑体积同其身体的比例大于大猩猩或猩猩的脑体积同其身体的比例，是同人类的高度心理能力密切关联的。在昆虫方面，我们遇到密切近似的事实：蚁类的脑神经节异常之大，所有膜翅目的脑神经节比智力较差的目，如甲虫的脑神经节要大许多倍①。另一方面，没有人会想像任何两种动物或两个人的智力可以由脑壳的容积准确地测定出来。肯定的是，有极小的一点纯粹的神经物质，就可进行非凡的心理活动：例如，蚁类令人吃惊的各种各样的本能、心理能力以及感情是众所周知的，而它们的脑神经节还不及一个小针头的四分之一那样大。从这个观点来看，蚁脑乃是这个世界上的最不可思议的物质原子之一，也许比人脑更加不可思议。

关于人脑的大小同智能的发达之间有某种密切关系这一信念，得到了未开化人和文明人的头骨比较以及古代人和近代人的头骨比较的支持，而且得到了从整个脊椎动物体系所看到的相似现象的支持。伯纳德·戴维斯博士②根据许多仔细的测量证明了，欧洲人头骨的内容积为 92.3 立方英寸；美洲人为 87.5 立方英寸；

① 迪雅尔丹（Dujardin），《自然科学年刊》（*Annals des Sc. Nat.*）第 3 辑，动物部分，第 14 卷，1850 年，203 页。再参阅洛恩（Lowne）先生的《蓄吐蝇（*Musca Vomitoria*）的解剖及其生理》，1870 年，14 页。我的儿子 F. 达尔文为我解剖了红褐林蚁（*Formica rufa*）的脑神经节。

② 《科学学报》（*Philosophical Transactions*），1869 年，513 页。

亚洲人为87.1立方英寸;澳洲人仅为81.9立方英寸。布洛卡教授[①]发现,巴黎坟墓中的19世纪头骨大于12世纪墓穴中的头骨,其比例为1484对1426;而且根据测量所确定的,增大部分完全在头骨的前额——智能的活动中心。普里卡得相信,不列颠的现代居民比古代居民具有"宽阔得多的脑壳"。尽管如此,还必须承认,有些极其远古的头骨,如尼安德特人[②]的一个著名的头骨,也是非常发达而且宽阔的[③]。关于低等动物,拉脱特[④]根据对同一类群的第三纪哺乳动物和近代哺乳动物的颅骨比较,做出如下值得注意的结论,即在较近代的类型中,一般脑要较大些,脑旋圈要较复杂些。另一方面,我曾指出[⑤],家兔的脑体积同野兔或山兔的脑体积相比较,前者是相当地缩小了;这大概可以归因于它们被严密地禁闭了许多代,因而很少运用它们的智力、本能、感觉以及随意运动。

脑和头骨重量的逐渐增加一定会影响作为支柱的脊骨的发达,特别是当变得直立的时候尤其如此。当带来这种姿势变化之后,脑的内压又要影响头骨的形状;因为许多事实阐明了头骨会多么容易地受到这样影响。人种学者相信,婴儿所睡的摇篮种类就会使头骨变形。肌肉的经常痉挛以及严重烧伤的疤痕,都会使面骨永久改变。青年人的头由于疾病向一边偏歪或向后歪,一只眼睛就要

① 《关于选择》(Les Sélections),布洛卡,见《人类学评论》,1873年,再参阅沃格特的《人类讲义》(Lectures on Man),英译本,1864年,88、90页。普里卡得,《人类体格史》(Phys. Hist. of Mankind),第1卷,1838年,305页。

② 更新世晚期,旧石器时代中期的"古代",分布在欧洲、北非、西亚一带。——译注

③ 在刚才提到的那篇有趣的文章中,布洛加教授很好地谈论了:在文明民族中由于保存了相当数量的身心皆弱的个人,其头骨的平均体积一定要降低,这些人如在未开化状态下,将会立刻被淘汰。另一方面,在未开化人中这个平均数仅包括那些在极其艰苦生活条件下能够生存的富有才能的个人。于是布洛卡说明了一个没有其他方法可以说明的事实,即洛泽尔(Lozère)的史前穴居人的头骨平均容积为什么要比近代法国人的为大。

④ 《法兰西科学报告》(*Comptes-rendus des Sciences*.)1868年6月1日。

⑤ 《动物和植物在家养下的变异》,第1卷,124—129页。

改变位置，而且头骨形状显然由于脑压朝着新方向发生作用而有所改变①。我曾阐明，关于长耳兔，甚至像一支耳朵向前垂下这样一种微小的原因，也会把几乎每一个头骨都朝着那一边向前拉；因而相对一侧的头骨就不严格对称了。最后，如果任何动物在一般体积上，大幅度地增加或缩减而心理能力不发生任何变化，或者，如果心理能力大幅度地增加或缩减而在身体体积不发生任何重大变化，那么其头骨形状几乎肯定要发生改变。我是根据对家兔的观察做出这一推论的，有些种类的家兔变得比野兔大得很多，还有一些种类的家兔保持了同野兔差不多的大小，但是无论在哪一种情况下，它们的脑同身体体积相比，都大幅度地缩小了。当我最初发现所有这等家兔的头骨都变长了，即长头的时候，使我大吃一惊；例如一只野兔的头骨和一只家兔的头骨，其宽度差不多相等，但前者的长度为 3.15 英寸，而后者的长度却为 4.3 英寸②。不同人类种族之间最显著的区别之一，就是有些种族的头骨是长形的，有些是圆形的；家兔事例所提供的解释，在这里也适用；因为韦尔克尔发现，矮个子"常倾向于短头，而高个子则倾向于长头。"③ 高个子的人可以同身体越来越大的家兔相比拟，所有这等家兔都是"长头"的。

根据这几个事实，我们在一定程度上可以理解人类如何获得了大的而多少圆形的头骨，而人类同低等动物相比，这正是最显著

---

① 沙夫豪森所举的有关痉挛和疤痕的例子，系根据布卢门巴赫(Blumenbach)和布施(Busch)的材料，见《人类学评论》，1868 年，10 月，420 页。贾洛得(Jarrod)博士所举的有关头骨由于头的部位不正而发生变异的例子，系根据坎波尔(Camper)和他自己的观察，见《人类学》(Anthropologia)，1808 年，115、116 页。他相信某些行业的人，如鞋匠，由于头部经常向前倾，前额变得较圆而且凸出。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，117 页论述头骨的变长；119 页论述一只垂耳的效果。

③ 沙夫豪森引用，见《人类学评论》，1868 年 10 月，419 页。

不同的性状。

人类和低等动物之间另一个最显著的差异为人类的皮肤无毛。鲸和海豚(鲸目),儒艮(海牛目)以及河马都是无毛的;这对它们滑游于水中可能是有利的;而且这不会散失体内热量而带来不利;凡栖息在寒带的物种,都有一厚层脂肪保护身体,其效用同海豹和水獭的毛皮一样。象和犀牛几乎是无毛的;以往曾在极其寒冷地区生活过的某些绝灭种却被有绵状毛或茸毛,因此这两个属的现存种失去它们的毛被似乎是由于暴露在炎热之中的原故。因为印度的象生活于高寒地带者比生活于低地者被有较多的毛①,所以上述论断好像越发可能了。那么,我们是否可以这样推论,人类之所以失去他们的毛是由于原本居住在某一热带地方吗?现今男人主要在胸部和面部保存有毛,无论男人和女人还在四肢同躯干连接处保存有毛,这就支持了人类在直立以前就失去了毛的这样一种推论;因为现在毛保存得最多的部位,正是那时保护得最好而不受太阳热辐射危害的部位。然而,头顶却提供了一个奇特的例外,因为无论在任何时候它一定都是最暴露的部分之一,而它却密被头发。可是,人类属于灵长类,而灵长类的其他目的成员虽然栖息于各式各样的热带地方,却周身有毛,一般朝上的表面最厚②,这一事实同人类通过日光作用而变得无毛的假设恰恰相反。贝尔特先生③相信,在热带地方,无毛对人类是一种利益,这样可以避免大群的扁虱(螨)和其他寄生虫,这些寄生虫常常侵扰他,而且不

---

① 欧文,《脊椎动物解剖学》,第3卷,619页。

② 小圣伊莱尔谈到人类的头部被有长发《自然史通论》,Hist. Nat. Générale,第2卷,215—217页),还谈到猴类和其他哺乳动物的朝上表面比朝下表面具有较厚的毛。不同的作者同样也观察到这一点。然而热尔韦兹(P. Gervais)教授却说,大猩猩的背部却比朝下部分的毛稀,这部分是由于被摩擦掉了。

③ 《博物学家在尼加拉瓜》(Naturalist in Nicaragua),1874年,209页。我引用的下述丹尼生(W. Denison)爵士所写的一节,是同贝尔特先生的观点一致的,"据说澳洲人有一种习惯:当蚤虱来找麻烦的时候,就用微火灼烧自己。"

时引起溃烂。但是，这种弊害是否会大到足可以通过自然选择而导致他身体无毛，尚可怀疑，因为在栖息于热带的许多四足动物中，据我所知，没有一种获得了解除这种痛苦的手段。在我看来，最可能的观点是男人、更确切地说是女人最初失去他们的毛，如我们将要在论“性选择”中所看到的，是由于装饰的目的；按照这一信念，人类同所有其他灵长类动物在毛发方面表现有如此重大差异，就不足为奇了，因为，通过性选择获得的性状在关系密切的类型中，其差异往往达到异常的程度。

按照普通的印象，以为尾的缺如乃是人类的显著特点；但是，同人类关系最近的那些猿类也没有这一器官，因此它的消失并非专与人类有联系。在同一个属内，尾的长度常常有巨大差别；例如猕猴属的某些物种的尾比它们的整个身体还要长，由 24 块椎骨形成；而在另外一些物种中，它仅是一个刚刚看得见的尾根，只包含 3 至 4 块椎骨。有些种类的狒狒，它们的尾包含 25 块椎骨，而山魈的尾只有 10 块很小的、发育不全的尾椎，或者，按照居维叶的说法①，有时只有 5 块尾椎。尾无论长的或短的，几乎永远在末端逐渐变细；我假定这是由于末端肌肉通过不使用而萎缩的结果，一齐萎缩的还有它的动脉和神经，因而导致了末端椎骨的萎缩。但是，关于它的长度常常发生的巨大差异，现在还无法提出解释。然而，这里我们所特别关注的却是尾的外部完全消失。布洛卡教授② 最近阐述了，所有四足动物的尾均由两个部分组成，一般彼此截然分开；基部所包含的椎骨就像正常椎骨那样地具有多少完善的骨沟

---

① 圣乔治·米伐特先生，《动物学会会报》，1865 年，562、583 页。格雷(J.E. Gray)博士，《大英博物馆目录：骨骼部分》(Cat. Brit. Mus)。欧文，《脊椎动物解剖学》，第 2 卷，517 页。小圣·希莱尔，《自然史通论》，第 2 卷，244 页。

② 《人类学评论》，1872 年；《尾椎的构造》(La Constitution des Vertèbres caudales)。

和骨凸；而端部则不具骨沟，几乎是平的，简直不似真正的椎骨。虽然看不见人类和类人猿外部有尾，实际上却是存在的，而且其基部和端部以完全一样的形式构成。形成尾骨的端部椎骨完全是残迹的，其体积和数量大大缩减。基部椎骨同样也很少，牢固地结合在一起，发育受到抑制；但它们因此比其他动物的尾的相应椎骨宽阔得多而且扁平得多：它们构成了布洛加所谓的副荐椎。对于支持某些内在部分和在其他方面，它们具有机能上的重要性；而且它们的变异同人类以及类人猿的直立姿势或半直立姿势直接相关联。由于布洛卡以前持有不同的观点，而现在他已放弃，所以这一结论更可信赖。因此，人类以及高等猿类的基部尾椎的变异是直接地或者间接地通过自然选择而完成的。

但是，关于尾端部残迹的并且容易变异的椎骨，即形成尾骨者，我们将说些什么呢？有一种见解曾经常常受到嘲笑，无疑今后还会受到嘲笑，即认为尾的外部的消失同摩擦多少有些关系，而这一见解最初看来好像并不那样荒谬可笑。安德森[①]博士说，褐猴的极短的尾是由11块椎骨形成的，嵌在肉里的基部椎骨也包括在内。尾端是腱质的，并不含椎骨；继此之后为5块残迹的椎骨，它们如此之小，其长度合在一起也不过一"赖因"半，而且永久弯向一边成钩状。尾的自由部分的长度仅为一英寸稍强，只包含4块更小的椎骨。这个短尾可以直竖，但其全长的约四分之一向内折叠于左方；包括钩状部分在内的这一末端用于"填充老茧皮上方分开部分的间隙"；这种动物坐于其上，这样便使它很粗糙，并且起老茧。于是安德逊博士总结其观察所得如下："在我看来，对这等事实只能有一种解释；由于这种尾是短的，当猴坐下来的时候，便可随心所欲地放置它，当猴取这种坐势时经常把它置于其下；因此尾不能伸出坐骨隆的末端之外，最初好像按照这种动物的意愿，将其尾弯成

① 《动物学会会报》1872年，210页。

圆形置于老茧皮间的空隙，以避免在地面和老茧皮之间受到挤压，当弯曲变为永久性的时候，把它坐在下面自能适合”。在这种情况下，尾的表皮变得粗糙和起老茧，就不足为奇了，穆里博士① 在伦敦动物园里曾仔细观察过这个物种以及另外3个尾巴稍长的非常近似的类型，他说，当这种动物坐下来时，它们的尾“必定要伸到臀部的某一边；无论它是长的或短的，尾根因而都容易受到摩擦或擦伤”。关于肢体损伤有时会产生遗传效果②，现在我们已有证据；因此，在短尾猴中，尾的突出部分既在机能上无用，且由于不断地受到摩擦或擦伤，经历许多世代之后变为残迹的和弯曲的，看来并非是不可能的事。我们看到褐猴尾的突出部分就是这种状态，而叟猴以及几种高等猿的尾的突出部分则是绝对发育不全的。最后，就我们所能判断的来说，人类和类人猿的尾是由于其末端在悠久的岁月里受到摩擦的损伤而消失了；嵌在肉内的基部缩小了而且变异了，以致可以适于直立的或半直立的姿势。

现在我已尽力阐明了，人类某些最独特的性状多半是直接地、或者更加普通的是间接地通过自然选择而获得的。我们应该记住，构造或体质的变异，如果不能使一个有机体适应于它的生活习性、它所消费的食物，或者被动地适应于环境条件，就不能这样获得。但决定什么变异对每种生物是有用的，我们切不可过于自信：我们应该记住，对于许多部分的用途，或者对于血液或组织中的何种变化可以使一种有机体适合于新的气候或新的食物种类，我们所知道的是何等之少。我们也一定不要忘记，相关作用的原理，如小圣

① 《动物学会会报》，1872年，786页。

② 我所指的是布朗-西奎(Brown-Séquard)对豚鼠在施行手术后所发生的癫痫症的遗传效果以及最近对切断颈部交感神经的相似效果所进行的观察。今后我还有机会提到沙尔文(Salvin)先生所举的有趣事例，即摩摩鸟(mot-mots)自己咬去其尾羽的遗传效果。关于这个问题的一般论述，参阅《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，22—24页。

伊莱尔在人类场合中所阐明的那样，把构造的许多奇特偏差都束缚在一起了。与相关作用无关，某一部分的一种变化通过其他部分的增强使用或减弱使用，常常会导致具有一种完全意想不到的性质的其他变化。对于下述事实加以思考将是有好处的，如一种昆虫的毒素可以招致一些植物奇妙地生长树瘿，饲喂某些鱼类或注射蟾蜍的毒素可以使鹦鹉的羽毛颜色发生显著变化①；于是我们可以知道，组织系统的体液如果为了某种特殊目的而发生改变，就会引起其他变化。我们应该特别记住，为了某种有用的目的在过去时期内获得的而且不断使用的变异，大概会牢固地固定下来，而且会长久地被遗传下去。

这样，就可使自然选择的直接的和间接的结果扩展到巨大而无限定的范围；读了内格利的有关植物的论文以及各位作者的有关动物的议论，特别是读了布洛加教授最近写的那些文章之后，现在我承认我在《物种起源》最初几版中，也许归功于自然选择或最适者生存的作用未免过分了。我对《物种起源》第5版已做了一些改动，以便把我的论述局限在构造的适应性变化方面；但是，甚至最近几年所得到的事实也使我确信，在我们看来现今似乎无用的很多种构造今后将被证明是有用的，因而将会处在自然选择的范围之内。就我们现在所能判断的来说，有些构造的存在既是无益的也是无害的，对此我以前没有给予充分的考虑，我相信在我的著作中这是迄今所发觉的最大失察之一。作为某种借口，或者可以允许我这样说：我曾着眼于两个明确的目的，其一，在于阐明物种不是被分别创造的，其二，在于阐明自然选择是变化的主要动因，虽然它大部分借助于习性的遗传效果，并且小部分借助于环境条件的直接作用。然而，过去我未能消除我以往信念的影响，当时这几乎是一种普遍的信念，即各个物种都是有目的地被创造的；这就会导

① 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，280、282页。

致我不言而喻地去设想，构造的每一细微之点，残迹构造除外，都有某种特别的、虽然未被认识的用途。一个人如果在头脑里有这种设想，他自然会把自然选择无论过去或现在所起的作用过份夸大。有些承认进化论但否定自然选择的人们，当批评我的书时似乎忘记了我曾着眼的上述两个目的；因此，如果我在给予自然选择以巨大力量方面犯了错误——这是我完全不能承认的，或者我夸大了它的作用——在其本身来说这是可能的，那么我希望，至少我在帮助推翻物种被分别创造的教条方面做出了有益的贡献。

就我所能知道的来说，所有生物，包括人类在内，可能均有无论过去或现在都是毫无用处的。因而不具有任何生理重要性的构造特点。我们还不知道各个物种的诸个体之间的无数微小差异何以产生，因为返祖只不过把这个问题向后推移了少数几步，但每一个特点一定都曾经有过它的生效的原因。不管这等原因是什么，如果它们在一个长久时期内比较一致地和有力地发生作用(没有理由可以反对这一点)，其结果大概不是仅仅的微小个体差异，而是十分显著而稳定的变异，虽然它们不具有生理重要性。变化了的构造如果完全是无益的，就不能通过自然选择而保持一致，虽然变化了的有害构造将因此而被淘汰。然而，性状的一致性自然是起于激发原因的假定一致性，同样也是起于众多个体的自由杂交。在连续的时期内，同一个有机体可能以这种方式获得连续的变异，只要激发原因保持不变而且自由杂交如故，则这等变异将以差不多一致的状态被传递下去。关于激发原因我们所能说的，就像谈到所谓自发变异时那样，只是，它们同变异着的有机体体质的关系要比同其外界条件性质的关系密切得多。

结 论

我们在这一章里已看到，人类在今天，就像每一种其他动物那

样，容易发生多种多样的个体差异，即微小的变异，人类的早期祖先无疑也是如此；这等变异在以往同现在一样，都是由同样的原因所引起的，并且受同样的一般而复杂的法则所支配。由于所有动物的增殖都有超出其生活资料的倾向，所以人类的祖先一定也是如此；这就要不可避免地导致生存斗争和自然选择。后一过程大大受助于身体诸部分增强使用的遗传效果，这两种过程彼此相作用，永无止息。还有，如我们以后将要看到的，人类似乎是通过性选择获得了各种不重要的性状。此外还有无法解释的变化，只好把它们留给那些假定的未知力量的一致作用，这种作用在我们家养生物中偶然会引起强烈显著而突发的构造偏差。

根据未开化人以及大多数四手类的习性来判断，原始人而且甚至人类的似猿祖先大概都是过社会生活的。关于严格社会性的动物，自然选择不时通过保存有利于群体的变异而对个体发生作用。一个群体如果包含大量秉赋良好的个体，就会增加其数量，而且就会战胜其他天赋较差者；即使各别成员并不优于同群的其他成员，也是如此。例如，群居昆虫所获得的许多奇异构造，如工蜂的花粉采集器或螫针，兵蚁的巨大颚部，对于个体来说都是用处不大或者毫无用处的。关于高等社会性的动物，我还不知道有任何构造专为群体的利益而发生变异，虽然有些构造变异对于群体具有第二位的用途。例如，反刍动物的角、狒狒的大形犬齿，由雄者获得似乎是作为进行性竞争的武器，但也用于保卫本群。至于某些心理能力，如我们在第五章将要看到的，情况就完全不同了；因为这等能力的获得主要是甚至专门是为了群体的利益，而个体不过因此同时间接地得到些利益而已。

上述这等观点常常遭到反对，谓人类乃是世界上最不能自助和自卫的一种动物，在其早期和不甚发达的状态下，他还要更加不

能自助。例如，阿盖尔公爵[1]坚决主张，"人类的体制同兽类的构造之分歧，是在身体的较大的不能自助性和软弱性方面的。这就是说，在其他一切分歧中，这是最不能把它归因于单纯的自然选择的。"他提到，身体无毛和无保护的状态，缺少用于自卫的大形牙齿或爪，人类的力气小而且速度慢，以及用嗅觉去发现食物或避免危险的能力薄弱。在这些缺点中似乎还可以加上一个更为严重的缺点，即人类不能迅速攀登以逃避敌对者。体毛的消失对热带居民来说大概不是什么重大损害。因为我们知道，不穿衣服的火地人在恶劣气候下也能生存。当我们以人类的不能自卫状态同猿类相比较时，我们必须记住，猿类所具的大形犬齿，只是在其充分发育时专为雄者所有，而且主要用于与其他雄者争取雌者的斗争；雌者虽不具此，也照样生存。

关于体格大小或体力强弱，我们还不知道人类究竟是从黑猩猩那样的某一小形物种传下来的呢，还是从强有力的大猩猩那样的物种传下来的；所以我们不能说，人类较其祖先变得更大更强些，还是变得更小更弱些。然而我们应该记住，正是体格大的、力量强的而且凶猛的、像大猩猩那样可以保卫自己不受一切敌对者危害的一种动物，也许未曾变为社会性的：恰恰是这一点最有效地阻止了高级心理属性——如对其伙伴的同情和热爱——的获得。这对于人类发生于某种比较软弱的动物，乃是一种巨大的利益。

人类的力气小、速度慢、本身不具天然武器等等，可由下列几点得到平衡而有余，即，第一，通过他的智力，他为自己制造了武器、器具等，即使依然处于野蛮状态下，也能如此；第二，他的社会性导致了他和同伴们相互帮助。世界上没有一处地方像南非那样充满了危险的野兽；没有一处地方像北极地区那样呈现了可怕的

① 《原始人类》(Primeval Man)，1869 年，66 页。

物质艰难境况；然而，一个最弱小的种族——布什门族[①]屹立于南非；矮小的爱斯基摩人屹立于极地。毫无疑问，人类的祖先在智力方面，大概也在社会性方面，均劣于现存的最低等未开化人；但完全可以想象得到，如果他们在智力方面进步了，同时逐渐失去了他们的野兽般的能力，如爬树等，他们也会生存下来，甚至繁盛起来。如果这些祖先当时居住在温暖的大陆或大岛如澳大利亚、新几内亚、婆罗洲[②]——这些地方正是猩猩的现在故乡，即使他们远比任何现存的未开化人更加不能自助和自卫，也不致遭遇任何特别的危险。在上述那样广阔的区域里，由部落与部落之间的竞争而引起的自然选择，再加上习性的遗传效果，在适宜的条件下足可以把人类提高到现今他在所有物种中所占据的至高无上的位置。

① 南非卡拉哈里沙漠地区一个游牧部族。——译注

② 加里曼丹(Kalimantan)的旧称，为亚洲一大岛。——译注

第 三 章

人类同次级动物的心理能力比较

最高等猿类同最低等未开化人在心理能力上的巨大差异——某些共同的本能——情绪——好奇心——模仿性——注意力——记忆力——想象力——理性——不断完善——动物使用工具和武器——抽象，自我意识——语言——审美感——神的信仰，心灵作用，迷信

我们在以上两章中看到，人类在其身体构造上带有来自某些低等类型的明显痕迹；但也许可以这样说：由于人类在其心理能力上同所有其他动物的差别是如此之大，因而这一结论一定还存在某种错误。毫无疑问，这一方面的差别是巨大的，即使我们把一个最低等未开化人——他不会表示 4 以上数目，并且对普通事物或感情也几乎不会使用任何抽象的名词[①] ——的心理同一只最高等猿的心理加以比较，也是如此。纵然一种高等猿类改进或开化到像一只狗超出其祖先类型狼或豺那样的程度，二者之间的差别无疑还是巨大的。火地人可以列为最低等的野蛮人，在英国皇家军舰"贝格尔"号上有 3 个火地土人，他们曾在英国住过几年，并且能说一点英语，这 3 个人在气质和大多数心理官能上同我们如此相似，以致经常使我感到惊奇。如果除了人类以外没有一种生物具有任何心理能力，或者，如果人类的心理能力性质完全不同于次级动物

① 关于这几方面的证据，参阅卢伯克的《史前时代》，354 页等。

的，那么我们永远不能使自已相信人类的高等智能乃是逐渐发展而来的。但可以阐明，二者基本上并没有这种差别。我们还必须承认，一种最低等鱼类如七鳃鳗或文昌鱼同一种高等猿类在心理能力上的间隔要比猿类同人类在这方面的间隔广阔得多；而这一间隔是被最细致的级连缀起来的。

就道德倾向来说，像老航海家拜仑所描述的那个野蛮人，因其子倾落一篮海参，就把他撞死在岩石上，以之比霍华德或克拉克森①，其间的差别诚然不小；就智力来说，一个几乎不会使用任何抽象名词的野蛮人和牛顿或莎士比亚②之间的差别，亦复如此。最高等种族的最高等人士和最低等未开化人之间的这种差别，彼此是由最细小的等级连接起来的。因此，它们由这一端变化和发展到另一端，是可能的。

这一章的目的在于阐明，在心理官能上人类和高等哺乳动物之间并没有基本差别。这个题目的每一部分都可以扩充为一篇单独的论文，但在这里只能简短地加以讨论。因为关于心理能力还没有一种普遍被接受的分类方法，所以我将按照最适于我的目的的顺序来安排我的论述；并且选用那些给我印象最深的事实，我希望它们对读者会产生一些影响。

关于等级很低的动物，我将在讨论"性选择"时补充一些事实，以阐明它们的心理能力之高远远超出我们的意料之外。同一物种中诸个体的心理官能变异性，对我们来说是一个重要之点，所以要在这里举出少数例证。但关于这个问题，我不准备详加讨论，因为我根据多次调查得知，所有那些长期对许多种类动物以至鸟类注意观察过的人们都一致认为，个体之间的每一种心理特性，都有重

① Henry Howard，英国诗人，1517？—1547。Thomas Clarkson，英国人，奴隶废除主义者，1760—1846。——译注

② Isaac Newton，英国自然科学家，1642—1727。William Shakspeare，英国诗人，戏剧家，1564—1616。——译注

大差别。要问心理能力在最低等有机体中最初是以怎样方式发展起来的，就如同问生命本身是怎样起源的一样，目前还是没有希望得到解答。如果这些是人确能解决的问题，那也有待于遥远的未来了。

由于人类具有和次级动物同样的感觉，所以人类的基本直觉一定也是同样的。人类和低等动物还有某些少数共同的本性，如自保，性爱，母对新生儿女的爱，新生儿女吸乳的欲望，等等。不过人类所具有的本能也许比次级动物所具有的本能要稍微少一些。东印度群岛的猩猩以及非洲的黑猩猩，均筑平台以为宿所；由于这两个物种遵循这同样的习性，或许可以这样辩解：这是出于本能，但我们无法肯定，这不是由于这两种动物有相似的需要而且有相似的推理能力的结果。像我们所设想的那样，这等猿类不吃许多种热带的有毒果实，而人就没有这种知识；但是，我们的家养动物当被带到异地时，在春季第一次把它们放出去之后，常常会吃毒草，不过以后它们就避免吃了；我们还无法肯定，猿类不会从它们自己的经验中或者从它们双亲的经验中去选吃什么样的果实。然而，像我们即将看到的那样，猿类肯定有怕蛇的本能，并且可能还有怕其他危险动物的本能。同低等动物的本能相对照，高等动物的本能显著地比较少而简单。居维叶主张本能和智力彼此成反比；有些人以为高等动物的智能是从它们的本能发展而来的。但普歇在一篇有趣的论文①中阐明，这种反比实际上是不存在的。具有最奇异本能的那些昆虫肯定是最有智力的。在脊椎动物的系列中，智力最差的成员如鱼类和两栖类，都没有复杂的本能；在哺乳动物中，以其本能著称的动物如河狸，则有高度的智力，每一个读过摩尔根先生的优

① 《关于昆虫的本能》(L'Instinct chez les Insectes)，见《两个世界评论》(Revue des Deux Mondes)，1870 年 2 月，690 页。

秀著作[①] 的人都会承认这一点。

虽然按照赫伯特·斯宾塞先生[②] 的说法,智力的最初端绪是通过反射作用发展而来的,虽然比较简单的本能逐渐变为反射作用而且二者几乎无法区别,如幼小动物的吮乳;但更加复杂的本能的起源,似乎还是与智力无关。然而我决不是否认本能活动会失去其固定的和不学自会的特性并且可以由自由意志所助成的其他特性所代替。另一方面,有些智力活动进行了几代之后,还会转变成本能而被遗传下去,如海洋岛上的鸟类学会避人就是这样。于是这等活动可以被说成是特性的退化,因为这种活动进行不再通过理性或经验了。但是,大多数比较复杂的本能似乎是以一种完全不同的方式被获得的,即由于比较简单的本能活动的变异受到了自然选择。这等变异似乎是由作用于脑组织的同样未知原因而发生的,引起身体其他部分发生微小变异或个体差异的就是这等原因;由于我们的无知,这等变异常常被说成是自然发生的。我以为,关于比较复杂的本能的起源,我们还做不出任何其他结论,如果我们考虑一下不育的工蚁和工蜂的不可思议的本能,而它们却不留后代以承继它们的经验和改变了的习性的效果,就可想而知了。

虽然我们从上述昆虫和河狸认识到高度的智力同复杂的本能确是共存的,虽然最初随意学得的动作不久可以通过习性以一种反射作用迅速而准确地进行,但自由智力和本能之间还有一定程度的抵触,——后者含有脑的某种遗传变异。关于脑的功能,我们所知甚少,但我们能够觉察到,当智力变得高度发达时,一定有最自由沟通的而且极其错综复杂的渠道把脑的各部分连接在一起;因此,每一个独立部分恐怕要较差地适于以一种确切的和遗传的——即本能的——方式去回答特殊的感觉或联想。甚至在智力的

① 《美洲河狸及其行为》(The American Beaver and His Works),1868 年。

② 《心理学原理》(The Principles of Psychology),第 2 版,1870 年,418—443 页。

低级程度和形成固定的、但不是遗传的习性的强烈倾向之间似乎也存在着某种关系；因为一位有洞察力的医生告诉我说，稍微有点低能的人每一行动都倾向于按照常规，即习性；如果夸他做得好，就会使他非常高兴。

我以为这种离题之论还是值得一提的，因为，当我们把高等动物、特别是人类的以记忆力、预见力、推理力和想象力为基础的心理能力活动和次级动物以本能来执行的完全相似的活动加以比较时，我们也许容易地对前者的心理能力估价得过低；在低等动物的场合中，执行这等活动的能力是通过心理器官在各个连续世代中的变异性和自然选择逐步被获得的，而与动物所表现的任何有意识的智力无关。正如华莱士先生①所辩说的，人类所完成的很多智力工作无疑是由于模仿，而不是由于理性；但人类的活动和次级动物的许多这等活动之间的重大差别，即在于此，这就是说，人类不会通过他的模仿力在最初一试中就能制造比如说一只石斧或一条独木舟。人类必须通过实践去学习工作；另一方面，一只河狸筑造它的堤堰或水道②，一只鸟筑造它的巢，在最初一试中其完善程度就可以像它年老而有经验时一样，或者差不多一样，而一只蜘蛛在最初一试中所织成的网同其年老而有经验时所织成的就完全一样好了③。

现在回到本题上来：低等动物像人那样也会感到欢乐和悲伤，幸福和苦难。幼小动物如小狗、小猫、小羊等在一起玩耍时和我们的小孩一样，没有比它们在这时所表现的幸福感更加明显的了。甚

① 《对自然选择理论的贡献》(Contributions to the The Theory of Natural Selection)，1870 年，212 页

② 河狸巧于筑巢，常在巢外筑堤为堰贮水，以防敌袭。筑巢所用的材料主要为木枝、粘土和砾石，入林采取木枝及搬运方法亦非常巧妙。——译注

③ 关于这个问题的证据，参阅摩格芮芝(Moggridges)先生的有趣著作，《农蚁和织阱蛛》(Harvesting Ants and Trap-door Spiders)，1873 年，126、128 页。

至昆虫，如卓越的观察家于贝尔① 所描述的，也像许多种类的小狗那样地在一起玩耍，他曾看到一些蚁互相追逐，互相咬着玩。

次级动物可以被和我们同样的感情所激动，这个事实已经如此充分地得到证明，以致没有必要再详加说明而引人生厌。恐怖对它们发生作用的方式就同对我们一样，这会引起肌肉颤抖，心脏跳动，括约肌松驰，以及毛发竖立。猜疑是畏惧的产物，它是大多数野生动物的显著特性。坦南特爵士关于用作诱捕其他象的雌象行为写过一篇报道，我想凡是读过这篇报道的人不可能不承认这些雌象是有意识地玩弄欺诈，而且深知它们在干什么。勇敢和懦怯在同一物种的诸个体中是极容易变异的特性，这在我们养的狗中有明显的表现。有些狗和马的脾气坏，容易生气；还有一些狗和马的脾气好；这等属性肯定是遗传的。谁都知道动物多么容易狂怒，而且表达得多么明显。关于各种动物经过长久期间后还会狡猾地进行报复，已经发表过许多轶事，看来这大概是真实的。正确的伦格尔和布雷姆② 说，他们所养驯的美洲猴和非洲猴确会施行报复。动物学家安德鲁·史密斯爵士的严格认真是众所周知的，他给我讲过一个他亲眼所见的故事：在好望角有一位军官经常虐待一只狒狒，某星期日当这只狒狒看到他列队前进时，便把水倒入一个小坑里，急忙合些稠泥，当这位军官走近时，它熟练地把稠泥向他猛砸过去，于是逗得许多旁观者发笑。很久以后，每当这只狒狒看到这位受害者的时候，便表现出胜利的欢欣。

狗对主人的爱是众所周知的；一位往昔的作者③ 富有风趣地

---

① 《蚁类习性的研究》(Recherches sur les Mæurs des Fourmis)，1810 年，173 页。

② 所有以下根据这两位博物学家所做的叙述，均引自伦格尔的《巴拉圭哺乳动物志》(Naturgesch. der Säugethiere von Paraguay)，1830 年，41—57 页；以及布雷姆的《动物生活》(Thierleben)，第 1 卷，10—87 页。

③ 林赛博士(Dr. L. Liudsay)在他的《次级动物精神生理学》(Physiology of Mind in the Lower Animals)一文中引用，见《心理学杂志》(*Jour. of Mental Science*)，1871 年 4 月，38 页。

说道："在这个世界上，狗是爱你甚于爱它自己的唯一动物"。据知，狗在临死的极度痛苦中还抚爱它的主人，大家都听说过，在被解剖中的一只狗还去舐解剖者的手；除非这次解剖确可增加我们的知识，要不，除非解剖者心如顽石，否则他必将悔恨终生。

休厄尔① 有理由地问道："一切民族的妇女的母爱同一切雌性动物的母爱如此经常地联系在一起，以致读过这等动人事例的人，能够怀疑在这两种场合中的行为准则不是一样的吗？"我们看到在微小细节上所表现出来的母爱；例如，伦格尔观察到一只美洲猴(卷尾猴)小心地把打扰母猴的幼儿的蝇子赶跑；迪沃塞尔看到一只长臂猿在一条小河边为它的幼儿洗脸。雌猴失去它们的幼儿时，其悲痛是如此剧烈，以致布雷姆在北非圈养的某些种类竟因此而死去。早孤的幼猴总是由其他雄猴和雌猴收来抚养，并且受到小心的保护。有一只雌狒狒，它的心肠如此宽宏，不仅收养其他物种的幼猴，而且还偷取小狗和小猫，随时把它们带在身边。然而，在把它的食物分给受抚养的幼猴方面，它就不那样仁慈了，这使布雷姆感到惊异，因为它养的猴总是把每一件东西十分公平地分给它亲生的幼猴。一只受抚养的小猫把这只富有深情的狒狒抓破了，这只狒狒的智力肯定是敏锐的，因为它对被抓破感到非常惊讶，随即检查小猫的脚，立刻把它的爪咬去②。伦敦动物园的一位管理员告诉我说，在那里有一只老狒狒，它抚养一只猕猴；但是，当把一只幼山魈和西非山魈放进槛笼时，它似乎觉察到这两只猴虽属于异种，却是它的较近亲属，于是它立刻弃去那只猕猴，而收养了幼山魈和西非山魈。我看到这只小猕猴对于受到这样遗弃，表示非常不满，它像

① 《布里奇沃特论文集》(Bridgewater Treatise)，263 页。

② 一位批评者毫无根据地对布雷姆所描述的这种行为的可能性提出质疑[《每季评论》(Quarterly Review)，1871 年 7 月，72 页]，这不过是为了攻击我的书而已。所以我自行试验，发现我能够容易地用我的牙把一只将近 5 周的小猫的小利爪咬住。

一个顽皮儿童那样地给小山魈和小西非山魈找麻烦并攻击它们，每当它能安全地这样干的时候它就这样干；这种行径激起了老狒狒的很大愤慨。按照布雷姆的说法，猴类当其主人受到任何侵犯时都会保护他，就像主人所养的狗当他受到别的狗侵犯时对他进行保护一样。但我们在这里触及了同情和忠诚的问题，以后我还要讨论这一点。布雷姆养的有些猴以各种巧妙的方法戏弄它们所厌恶的一条老狗和其他动物，由此而感到非常高兴。

大多数比较复杂的情绪是人类和高等动物所共有的。众所周知，如果一只狗的主人对任何其他动物表示过份地亲热，这只狗会多么妒嫉；关于猴，我曾观察到同样的事实。这阐明动物不仅会施爱于他，而且有受爱的欲望。动物显然有好胜心。它们喜欢受到称赞；一只狗为它的主人叨着篮子走，就会表现出高度的自满或骄傲。我以为当狗过于频繁地乞求食物时，无疑它会感到羞耻，这同恐惧有别，而接近于谦逊。大狗对小狗的吠叫表示蔑视，这或者可以被称为宽宏大量。若干观察家说过，猴类肯定厌恶别人拿它取笑，而且有时它们幻想这是受到攻击。我在伦敦动物园看到一只狒狒，每当它的饲养员拿出一封信或一本书向它高声朗读时，它总是暴躁狂怒；它是如此怒气冲冲，以致有一次我亲眼看到它咬自己的腿，直到流血。狗有一种名符其实的幽默感，这和单纯的游戏有所不同；如果把一小截树枝或其他类似物品丢给一只狗，它常常把这件东西带到不远的地方，然后蹲在它的近前等候着，直到主人完全走近来拿这东西的时候；于是它抢先衔住这东西，耀武扬威地猛奔而去，它重复地玩弄这同样的花招，并且显然享受这种开玩笑的乐趣。

现在我们谈谈更近于理智的情绪和官能，这是高等心理能力发展的基础，故很重要。动物显然喜兴奋，而恶无聊，所以看到狗有这种情形，伦格尔说猴也有这种情形。所有动物都有惊异感，有许多动物还显示好奇心。它们不时因后一属性而受害，因为当猎人玩

弄滑稽动作时，它们就会这样受到诱惑；我亲眼看到，鹿是这样，谨慎的岩羚羊是这样，某些种类的野鸭也是这样。布雷姆有过如下的奇妙报道：他养的猴对蛇表示了本能的畏惧；但它们的好奇心如此之重，以致不能打消一看的念头，不时把蓄蛇箱的盖子掀开，以饱享恐怖之乐，这很像人类的风尚。我对他的报道感到非常惊奇，所以我把一条剥制的、盘卷的蛇扔进伦敦动物园的猴房，由此而引起的激动是我平生所看到的最奇妙景象之一。有三种长尾猴最为惊恐；它们在笼内冲来冲去，并且发出为其他猴所明白的带有危险信号的尖锐叫声。少数幼猴和仅有一只老阿努比斯狒狒对这条蛇不予注意。于是我把这个剥制的标本放到一间较大的猴房地上。这一回，所有的猴都集到一起围成一个大圈，目不转睛地注视着那条蛇标本，面貌极其滑稽可笑。它们变得极度神经紧张；有一只它们经常玩的木球，部分埋在麦草内，不料它从那里滚出来，弄得它们立刻惊散。当把一条死鱼、一只鼠[①]、一只活龟以及其他新奇物件放进它们的笼内时，这些猴的表现就大不同了；虽然它们最初被吓一跳，可是很快就走近这些东西，触摸它们而加以检查。这时我把一条活蛇放入一个纸袋内，袋口微闭，然后把它放在一间较大的猴房里。有一只猴随即走近，小心地把袋口打开一点，向内窥视，立刻猛冲而去。于是我亲眼见到布雷姆所描述的那种情况；诸猴相继而来，把头抬得高高地，而且扭向一侧，忍不住向这个直立的袋内偷看一下那个安静地卧在袋底的可怕之物。好像猴类对动物学的亲缘关系也有某种概念，因为布雷姆所养的猴对无害的蜥蜴和蛙表示了一种奇异的、虽然是错误的本能恐惧。据知，猩猩最初一看到龟也非常惊恐[②]。

① 在我的《人和动物的感情表达》(Expression of the Emotions……)书中曾简短谈到这种情形。

② 马丁(W. C. L. Martin)，《哺乳动物志》(Nat. Hist. of Mammalia)，1841年，405页。

人类的模仿性很强，如我亲自观察的、未开化人的模仿性尤其强。在脑部患有某种病症的状况下，这一倾向被扩大到异常的程度；有些半身不遂的患者以及其他脑部初期炎性软化的患者，不自觉地模仿别人说的每一个字，无论这是本国语言还是外国语言，而且模仿他们所看到的每一种姿势或动作①。德索尔②曾说，没有一种动物自愿地模仿人类的动作，直至上升到猴类的等级，都是如此；众所周知，它们是可笑的模仿者。然而，动物不时彼此模仿对方的动作：例如，有两种由狗养育起来的狼，它们学狗叫，就像豺不时所做的那样③，不过这是否可以被称为自愿的模仿还是另一个问题。鸟类模仿其双亲的鸣声，有时还模仿其他鸟类的鸣声；鹦鹉以善于模仿它经常听到的任何声音而著称。马尔④做过如下报道：有一只由猫养育起来的狗，它学着模仿猫的一种出名的动作，用舌舐脚爪，然后洗其双耳和脸；著名的博物学者奥杜因亲自见过这种情形。我收到过几篇这方面的确实报道；其中之一表明，有一只猫把一只狗同几只小猫一齐带大了，但它并没有吃过猫的奶，可是这只狗就这样获得了上述习性，而且此后在它一生的13年中一直这样做。马尔养的一只狗同样地也从小猫那里学会用前爪扑打着球，使它滚来滚去。一位通信者向我保证说，他家有一只猫惯于用前爪伸入牛奶罐内蘸奶偷吃，因为罐口太狭，容不进它的头。这只猫生养的一只小猫很快就学会了这个诡计，此后只要有机会它就这样干。

许多动物的双亲依靠其幼儿的模仿性、特别是依靠其本能的或遗传的倾向，或者可以称为对它们进行教育。当老猫把一只活鼠带给它的小猫时，我们就可以看到这种情形了；马尔就他对鹰的观

---

① 贝特曼(Bateman)博士，《关于失语症》(On Aphasia)，1870年，110页。
② 沃格特引用，《关于畸形小头的研究报告》，1867年，168页。
③ 《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，27页。
④ 《自然科学年刊》(*Annales des Sc. Nat.*)，第1辑，第22卷，397页。

察写过一篇奇妙的报道[①]：鹰用以下的方法去教小鹰学会敏捷以及对距离的判断，即首先把死鼠和死麻雀在空中丢下来，但小鹰一般捉不到它们，然后把活鸟带给小鹰，再纵放它们飞去。

对人类智慧的进步来说，几乎没有任何智能比注意力更重要的了。动物明确地显示了这种能力，如猫守候在鼠穴旁，准备向鼠扑去。野生动物有时如此集中注意，以致这时人可以容易地接近它们。巴特利特先生给过我一个奇妙的例证以说明这种能力在猴类中多么容易变异。有一位训猴做戏的人，惯常从“动物学协会”购买普通的种类，每只付价五镑；但是如果让他把三四只猴养上少数几天，再从其中选出一只，他就愿付出双倍的价钱。当问他怎么能够那样快地判断出被选定的猴是否会成为一个好的表演者，他答道，这完全决定于它们的注意力。当他向一只猴说话和解说任何事物的时候，如果它的注意力容易分散，譬如说把注意力转向墙上的一只苍蝇或其他细小物件，那么这种情形就没有希望了。如果他试着用责罚来使注意力不集中的猴做戏，它就要发怒。另一方面，有些猴小心地注意着他，这些猴永远可以被训练好。

动物对人和地点都有极好的记忆力，对此已不必多加赘述。安德鲁·史密斯爵士告诉我说，在好望角有一只狒狒，在他离去 9 个月之后还认识他，并表示了喜悦之情。我养过一条狗，它对所有生人都嫌恶而且凶悍十足，在离开 5 年零 2 天之后，我特意试过它的记忆力。我走近它的窝，按照我的老样子呼喊它；它虽没有表示喜悦，但立即跟着我出去散步，并且服从我的指挥，好像我和它刚分开半小时一样。休眠达 5 年之久的一连串联想，就这样立即在它的头脑中被唤醒了。正如于贝尔[②]所明确阐述的，甚至蚁类和同群的伙伴分开 4 个月之后，还能认识它们。动物肯定能以某种方法去判

① 《自然科学年刊》(*Annales des Sc. Nat.*)，第 1 辑，第 22 卷，397 页。
② 《蚁类习性的研究》(Les Moeurs des Fourmis)，1810 年，150 页。

断再发事件的间隔时间。

想象力为人类所拥有的最高特权之一、凭借这种官能，而不是依赖意志，他就能把先前的意象和观念联合在一起，并由此得到灿烂而新奇的结果。正如吉恩·保罗·里歇特[①] 所说的，一位诗人"如果必须思考他要塑造的人物究竟应说'是'，还应说'否'——见他的鬼去吧；这个人物只能是一具愚蠢的僵尸。"做梦这件事可以使我们有一个关于想象力的最好概念；吉恩·保罗还说过，"梦乃是一种无意识的诗般的艺术"。我们想象力的产物的价值当然决定于我们的印象的数量、准确性和清晰度，决定于我们在取舍无意识的印象组合时所做的判断和所表现的爱好，并且在一定程度上还决定于我们有意识地组合它们的能力。因为狗、猫、马及可能一切高等动物乃至鸟类[②] 都有清晰的梦，它们在睡眠中的动作和发出的声音阐明了这一点，所以我们必须承认它们具有某种想象力。一定有某种特殊的原因致使狗在夜间，特别是在月夜中以一种异常的、忧郁的声调吠叫。并非所有狗都夜吠，乌泽[③]说，它们不是对着月亮吠叫，而是对着接近地平线的某一固定地点吠叫。乌泽以为它们的想象力被周围物体的模糊轮廓扰乱了，于是在它们面前呈现出幻想的意象：倘真如此，则它们的感觉差不多可以被称为超凡的了。

我设想，在人类的所有心理官能中理性可以被承认处于顶峰。现在只有少数人对动物具有某种推理能力还有疑问。随时可见，动物会踌躇、审慎和下决心。一位博物学者对任何特殊动物的习性研

---

① 莫兹利博士在其《精神的生理学和病理学》(Physiology and Pathology of Mind)一书中引用，1868年，19、220页。

② 杰尔登(Jerdon)博士，《印度的鸟类》(Birds of India)，第1卷，1862年，21页。乌泽说，他养的长尾小鹦鹉(parakeets)和金丝雀(canary-bird)会做梦：《动物的心理官能》(Facultés Mentales des Animaux)，第2卷，136页。

③ 《动物的心理官能》，1872年，第2卷，181页。

究得越多，他就把习性归因于理性者越多，而归因于无意识的本能者越少[①]，这是一个值得注意的事实。在以下几章中将会看到，某些等级极低的动物显然也显示一定程度的理性。理性的能力和本能的能力无疑常常是难以区分的。例如，海斯博士在他的《开放的北极洋》一书中屡次提到，当他的狗把雪橇拉到薄冰上的时候，它们就不继续采取密集队形，而是彼此散开，以便它们的重量可以比较平均地分布。这常常是旅行者们所得到的最先警报：冰已经变薄而且有危险了。那么，狗的这种行为是来自各个个体的经验呢，或是来自比较年长而且比较聪明的那些狗的示范呢，还是来自一种遗传的习性，即本能呢？这种本能可能发生于很久以前当地居民用狗来拉雪橇的时候；或者，爱斯基摩狗的祖先——北极狼已经获得了这样一种本能，迫使它们不要在薄冰上密集地去攻击它们所要捕食的动物。

我们只能根据完成行为时所处的环境条件去判断这些行为是由于本能，或是由于理性，还是由于观念的联合。默比斯[②]教授举过这样一个奇妙的事例：有一条梭子鱼在水族箱内被玻璃板隔开，玻璃板的另一侧养着一些鱼，它常常如此猛烈地撞向玻璃板，试图捉对面的鱼，以致不时被完全撞晕过去。这条梭子鱼这样继续干了3个月，但最后学会慎重，停止乱撞了。这时把玻璃板移去，它不再攻击原来的那些鱼，却吞食此后放进去的鱼；在它的薄弱心理中，一种猛烈冲撞的观念同捕食其以前邻居的试图如此强有力地联合在一起了。如果一个从来没有见过大厚玻璃窗的未开化人，甚至只在窗上撞过一次，长久以后他还会把冲撞和窗框联想到一起；但和梭子鱼大不相同，他大概要对障碍的性质进行思考，并且会在相似

① 摩尔根先生的《美洲河狸》(The American Beaver)一书为这一叙述提供了一个良好例证。然而我不得不认为他过于低估了本能的能力。

② 《关于兽类的动作》(Die Bewegungen der Tiere)1873年，11页。

情况下加以注意。关于猴类，如我们即将看到的那样，只要有一次由于一种行为而得到痛苦的，或者仅仅是不适意的印象，有时这就足可以阻止这种动物再去重复它。如果我们把猴和梭子鱼的这种差别完全归因于猴比梭子鱼的联合观念的能力强得多而且持久得多，虽然梭子鱼所受到的损害常常严重得多，那么在人类的场合中，我们能够主张一种相似的差别是意味着他具有一种基本不同的心理吗？乌泽① 说，当在得克萨斯穿过一处广阔而干燥的平原时，他的两条狗非常之渴，它们冲下凹地去找水，不下三四十次。这些凹地并非溪谷，那里没有一棵树，而且植被也没有任何其他差别，况且那里是绝对干燥的，所以不会有一点湿土的气味。狗有这样行为，好像它们知道低凹的地势可以为其提供找到水的最好机会，乌泽还经常亲眼见到其他动物也有这种同样的行为。

我曾在伦敦动物园里看见过，我敢说别人也曾在那里看见过，当把一个小物件扔到一头象勾不到的地面上，它就会用鼻子向着小物件那边的地面上吹气，所以从四面八方反射回来的气流，可以把那个物件吹至它能勾到的范围之内。再者，一位著名的人种学家韦斯特罗普先生告诉我说，他在维也纳看到一只熊用它的前脚去拍打其笼子栏杆前面的一汪水，造成水流，以便把一片漂浮的面包引至它能勾到的范围之内，简直不能把象和熊的这等行为归因于本能，即遗传的习性，因为这对处于自然状态下的动物一点也没有用处。那么，当一个未开化人也有这等行为时，它们同一种高等动物的这等行为有什么区别吗？

未开化人和狗往往在平地的低处发现过水，这种发现水时的情况总是彼此一致的，这种一致的情况在它们的心理中便联系起来了。文明人也许对这个问题可以提出某种一般的命题；但根据我们所知道的未开化人的一切情况来说，他们是否也能这样做，确系

① 《动物的心理官能》1872年，第2卷，265页。

一个极大的疑问，狗肯定不能这样做。但是，未开化人乃至狗还能按照同样的方式去找水，虽然他们屡屡感到失望；未开化人的、或者狗的这种行为似乎同等都是理性的，无论是否有任何一般的命题有意识地置于心理之中①。象和熊造成气流和水流的那种情况，也是如此。未开化人肯定不会理解，也不会关心依据什么法则才能完成所期望的运动；但他的行为受到一种粗略的推理过程的引导，的确就像一位哲学家在他的一大串演绎中所做的那样。毫无疑问，未开化人和高等动物之间的差别在于：未开化人注意极其细小的境况和条件，并且以其极少的经验来观察这二者之间的任何关联，而这一点则具有至高无上的重要性。我对我的一个小孩的行为曾逐日做过记录，当他长到 11 个月左右的时候，在他还不能说一个单字之前，他就能迅速地把所有种类的事物和声音在他的精神中联系在一起，其迅速的程度超过我所知道的最聪明的狗，这一情况屡屡给我留下了深刻印象。但是，高等动物同狗鱼那样的低等动物之间在联想力以及在推理力和观察力方面的差别也完全如此。

美洲猴的下述行为很好地阐明了通过很短的经验之后就能激起理性的活动，而美洲猴在灵长类中处于低级的地位。一位最谨慎的观察家伦格尔说道，当他在巴拉圭第一次把一些鸡蛋给他所养的猴时，它们把鸡蛋打碎了，因而大部分蛋黄和蛋白都流失掉了；其后它们就把鸡蛋的一端轻轻地向一种坚硬的东西上击撞，并且用手指剥去一点碎壳再吃。只要它们被任何锐利的工具割伤一次之后，它们以后就不再触动它，或者非常小心地去拿它。伦格尔常常把糖块用纸包好后再给它们；有时他在纸包中放一只活黄蜂，当它们急着打开纸包时就被螫了；只要经过这样一次之后，它们总是

① 赫胥黎非常清晰地分析了一个人和一只狗的心理等级，他做出的结论和我在本书中所提出的看法相似。参阅他的文章《批评达尔文先生的人们》(Mr. Darwin's Critics)，见《当代评论》(*Contemporary Review*)，1871 年 11 月，462 页，并见《评论及短论》(Critiques and Essays)，1873 年，279 页。

首先把纸包放在耳朵旁边，侦查一下其中是否有任何动静①。

下述是关于狗的一些事例。科尔库杭先生② 曾用枪射伤两只野鸭的翅膀，它们落在一条小河另一边较远的地方；他的"拾物猎狗"试图一次把两只同时叼回来，但没有成功；于是它审慎地咬死一只，把另一只带过河后，又回去带那只死的，但在此之前她从来没有损伤过野鸭一根羽毛。哈钦森上校叙述，他曾用枪同时射到两只鹧鸪，一只被射死，一只受伤；受伤的那只逃走，但被拾物猎狗捉到，当它回来的时候又跑到那只死鹧鸪处；"它停了下来，显然非常为难，试了一两次之后，发现它无法把死鸟带走而不让伤鸟逃去，考虑片刻之后，它就狠狠地给伤鸟一口，把它咬死，然后把两只一齐带走。"这是它"故意伤害任何猎物的唯一事例"。在这只拾物猎狗先去捉伤鸟然后又回过头来带死鸟的例子中，以及在那两只野鸭的例子中，我们看到了理性，虽然这并不是十分完全的。我之所以列举上述两个例子，因为它们是以二位彼此无关的目睹者所提出的证据为基础的，并且因为在这两个事例中拾物猎狗经过深思熟虑之后竟然打破了它们所遗传下来的一种习性（不咬死拾取的猎物），同时还因为它们显示了其推理力多么强有力地克服了固定的习性。

我愿引用杰出的洪堡③的一段议论作为这个问题结束。他说："南美的赶骡人说道，'我不给你一头走得最平稳的骡子，我给你一头理性最好的骡子'"；接着洪堡又说，"根据长期经验所表达出来这种通俗言词，反驳了动物乃是有生命的机器那种说法，恐怕它比

① 贝尔特先生在他那部最有趣的著作《自然学者在尼加拉瓜》中同样也描述了一只驯服的卷尾猴的各种行为，我以为这明显地阐明了这种动物具有某种推理力。

② 《沼和湖》(The Moor and the hoch)，45 页。哈钦森上校，《狗的训练》(Dog Breaking)，1850 年，46 页。

③ 《个人记事》(Personal Narrative)，英译本，第 3 卷，106 页。

思辨哲学的所有论点都好。”尽管如此，有些作者甚至现在还否认高等动物具有一点理性的痕迹；而且他们力图凭借看来仅仅是一些冗词滥调①把上述一切事实巧辩过去。

我想，现在我已经阐明了人类和高等动物、特别是和灵长类动物有一些少数共同的本能。所以它们都有同样的感官、直觉，以及感觉，——相似的热情、情感，以及情绪，甚至更复杂的，如嫉妒、猜疑、争胜、感激，以及宽宏大量；它们都会玩弄欺诈和实行报复；它们有时对受到嘲笑都敏感，甚至还有一种幽默感，它们都有惊奇感和好奇心；它们都具有同样的模仿、注意、深思熟虑、选择、记忆、想象、观念联合、理性等各种官能，虽然其程度有所不同。同一物种的诸个体在智力上有许多等级，由绝对低能一直到高度优秀。它们也有患精神错乱的，但这种情形远比在人类场合中为少②。尽管如此，许多作者还坚决主张，人类和一切次级动物在心理官能方面是被一条不可逾越的障壁分开的。以前我曾搜集过大量有关上述的“警句”，但几乎都是没有什么价值的，因为其内容彼此差异极大，而且数量过多，证明这种试图如果不是不可能的，也是困难的。有人断言，只有人类能够不断完善；只有他能利用工具和火，驯养其他动物，或者拥有财产；任何动物都没有抽象力，即形成一般概念的能力，都没有自我意识和自知之明；任何动物都不能使用语言；只有人类有审美感，不容易解释的怪想、感激之情、神秘感等等；人

① 我高兴地看到像莱斯利·斯蒂芬(Leslie Stephen)先生那样敏锐的思想家当谈到人类和低等动物的心理之间那条假定的不可逾越的障壁时说道［见《达尔文主义和神学，自由思想论文集》(Darwinism and Divinity, Essays on Free-thinking, 1873 年，80 页)］：“诚然，划出这种区别所依据的根据在我们看来，并不比其他大量的形而上学的区别所依据的根据更好一点，这就如同说，因为你能给两种东西起不同的名字，所以它们一定有不同的性质。难于理解凡是曾经养过一条狗或者见过一头象的人，怎么还会怀疑动物实质上有可以完成推理过程的能力。”

② 参阅林赛博士的《动物的疯狂》(Madness in Animals)，见《心理学杂志》，1871 年，7 月。

类信仰上帝，并且有良心。我愿就其中比较重要而有趣的几点贸然提一点如下意见。

大主教萨姆纳①以前主张，只有人类才能不断完善。人类比其他任何动物的改进都无比之大而且无比之快，对此已无争辩的余地了；这主要是由于他有说话的能力，并且能把他获得的知识传下去。关于动物，我们首先看一看个体，每一个对设置陷阱有点经验的人都知道，小动物比老动物容易被捉到；而且敌对者接近它们也容易得多。关于老动物，甚至不可能在同一地点和用同一种类的陷阱捉到许多，或者用同一种类的毒药把它们全都毒死；总不会它们都一齐吃过毒药，或者一齐被陷阱捕捉过吧！它们一定由于看到同伴的被捕捉或被毒害而学会警惕。所有观察家们一致证明，在北美，毛皮动物长期受到捕猎，因此它们所显示的机智、小心以及狡猾几乎到了难以置信的程度；但是在那里设置陷阱已经进行了如此之久，以致遗传性业已起了作用并非是不可能的。我曾收到几份报导，指出当在任何地区初设电报时，许多鸟由于飞撞电线而致死，但经过很少数几年之后，它们似乎看到同伴因此而死的情况，便学会了避免这种危险②。

如果我们考虑到连续的世代或考虑到种族，毫无疑问，鸟类以及其他动物对人类或其他敌对者的警惕是逐渐地获得和失去的③；这种警惕肯定地大部分是一种遗传的习性或本能，但一部分乃是个体经验的结果。一位优秀的观察家勒鲁瓦④述说，在大量猎

① 莱伊尔(C. Lyell)爵士引用，《人类的源远流长》(Antiquity of Man)，497 页。

② 关于更多的详细证据，参阅乌泽的《论心理官能》(Les Facultes Mentales)，第2卷，1872年，147页。

③ 关于海洋岛上的种类，参阅我的《"贝格尔号"航海研究日志》(Journal of Researches during the voyage of the "Beagle")，1845年，398页。《物种起源》，第5版，260页。

④ 《有关动物智力哲学的书信集》(Lettres Phil. Sur l'Intelligence des Animaux)，新版，1802年，86页。

狐的地方，小狐在最初离开它们的穴时，其警惕性不可否认地远远超过那些猎狐不多的地方的老狐。

我们家养的狗是从狼和豺传下来的[1]，虽然它们在狡诈方面可能无所得，在警惕和猜疑方面也许有所失，但它们在某些道德品质方面，如仁爱、忠诚、温良，而且，大概在一般智力方面，却向前发展了。在整个欧洲，在北美的一部分地方，在新西兰，最近在台湾，以及在中国大陆，普通鼠已经战胜和打倒了另外几个物种。斯温赫先生[2] 描述过中国大陆和台湾的这种情况，他把普通鼠之所以能够战胜一种大型家鼠归因于前者有较大的狡诈性；这种属性的获得大概可以归因于它们避免人类扑灭的一切能力惯常地受到了锻炼，并且可以归因于差不多一切狡诈较差或智力薄弱的鼠类不断地被消灭掉。然而，普通家鼠的取胜可能是由于它们在同人类接触之前就已经具有了优于同时存在的其他物种的狡诈性了。不以任何直接证据为依据，面主张没有任何动物经历悠久岁月的过程在智力或其他心理官能方面曾经有所前进，这无异用未经证明的假定对物种进化问题进行狡辩。根据拉脱特的叙述，我们已经知道，属于若干"目"的现存哺乳动物的脑大于其第三纪的古代原型的脑。

经常有人说，动物不会用任何工具；但是，在自然状况下的黑猩猩却会用一块石头把一种胡桃似的坚果打碎[3] 伦格尔[4] 容易地教会一只美洲猴用石头把一个硬棕榈坚果击破；以后它就会主动地这样把其他种类的坚果以至箱子击破。它还会这样去掉味道不适口的软果皮。另一只猴被教会用一根木棍把一个大箱子盖撬开，

① 关于这个问题的证据，参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，第1章。
② 《动物学会会报》(*Proc. Zoolog. Soc.*)，1864年，186页。
③ 萨维奇(Savage)和怀曼(Wyman)，《波士顿博物学杂志》(*Boston Journal of Nat. Hist.*)，第4卷，1843—1844年，383页。
④ 《巴拉圭哺乳动物志》，1830年，51—56页。

此后它就会把木棍作为杠杆去移动沉重的物体；我曾亲自见到一只小猩猩把一个木棍插入裂缝，用手握住另一端把箱子撬开，它把木棍当作杠杆用的方式是完美的。众所周知，印度的驯象会折取树枝，用以赶跑蝇子；曾经观察到在自然状态下的一头象也会这样干①。我曾看到一只小猩猩自以为要受鞭打，便用毯子或麦草来掩护自己。在这几个事例中，石头和木棍是当作工具用的，但它们同样地还把这些东西当武器用。布雷姆②说，根据著名旅行家辛佩尔的权威叙述，在阿比西尼亚③，当一种狮尾髑猴成群结队从山上下来掠夺田野的时候，它们时常同另一种阿比西尼亚髑猴相遇，这时便要发生战斗。狮尾髑猴把大石头滚下来，阿比西尼亚髑猴设法躲开，然后双方大声喧嚣，彼此凶猛地冲击。布雷姆陪伴科堡-哥达公爵曾在阿比西尼亚的门沙隘道用火器助攻一群髑猴；作为报复，这群髑猴从山上滚下来这么多的碎石，有些大如人头，以致攻击者不得不迅速退却；而且隘道实际上为之堵塞了一段时间，致使货车不得通过。值得注意的是，这些髑猴是协同动作的。华莱士先生④曾三次见到一些携带着幼子的雌猩猩"以非常狂怒的容貌折断榴莲树的枝条和大刺果，掷如雨下，有效地防止了我们走到树的近旁。"我曾屡次见到黑猩猩把手边的任何东西掷向来犯的人；还有，上述好望角的那只狒狒准备好稠泥作为攻击之用。

伦敦动物园里有一只猴，它的牙齿软弱，经常用一块石头把坚果敲开，管理员们向我确言，它用毕那块石头，便把它藏在麦草下面，并且不许其他任何猴动它。于是我们在这里看到了所有权的观念；不过每一条狗对于一块骨头，以及大部分或全部鸟类对于它们的巢，全有这种观念。

---

① 《印度原野》，(indian Field)，1971年，3月4日。
② 《动物生活》，第1卷，79、82页。
③ 埃塞俄比亚(Ethiopia)的旧称。——译注
④ 《马来群岛》(The Malay Archipelago)，第1卷，1869年，87页。

阿盖尔公爵[①]说，制造适合于一种特殊目的的工具，绝对只有人类才能做到；他认为这在人类和兽类之间形成了难以计量的分歧。无疑这是一个很重要的区别；但是在我看来，卢伯克爵士[②]的意见还是相当正确的，他认为当原始人类最初为了达到任何目的而使用燧石时，可能偶然地把它们打成了碎片，这时他大概会选那些锐利的碎片来用。从这一步到有目的地弄破燧石，大概只有一小步，再经过不大的一步，就可以粗糙地使它们成形了。然而，在新石器时代人类开始琢磨石器以前，却经历了非常悠久的岁月，据此判断，上述后面那种进步大概也需要很长的时间。拉卜克爵士又说，当破裂燧石时，火花会发出，当琢磨石器时，热会生出；这样，"两种通常取火的方法便发生了。"在许多火山区，溶岩不时流过森林，那里的人对火的性质大概会有所了解。类人猿大概在本能的引导下，为自己建造临时的平台；但是，许多本能主要受理性的支配，所以像建造平台那样比较简单的本能大概会容易地变成一种自愿的和有意识的行为。据知猩猩在夜间用露兜树叶遮盖自己；布雷姆说，他养的狒狒经常把草席盖在头上以防太阳晒。在这几种习性中，我们大概看到了向着某些比较简单的技艺——如发生于人类早期祖先时代的那种粗糙的建筑和衣服——的最初步骤。

抽象，一般概念，自我意识，心理的个性

无论谁，即使学问远远超过我的人，要想决定动物呈现任何这些高级心理能力的痕迹到怎样程度，也是很困难的。这种困难起因于不可能判断在动物心理中所闪过的念头是什么；还有，作者们对上述名词所赋予的意义大不相同，这就招致了进一步的困难。如果

① 《原始人类》(Primeval Man)，1869年，145、147页。
② 《史前时代》(Prehistoric Times)，1865年，473页起。

根据最近发表的各种材料来判断，那么最强调的似乎还是在于假定动物完全没有抽象的能力，即没有形成一般概念的能力。但是，当一条狗在一段距离内看到另一条狗时，显然它抽象地觉察到那是一条狗；因为，当它走近时，另一条狗如果是一个朋友，它的全部举止就会突然改变。最近一位作者说，在所有这等事例中，断言人类和动物的心理行为在本质上具有不同的性质，乃是一种纯粹的臆测。如果把任何一方由感官所察觉到的归入一种心理概念，那么对双方均可如此[1]。我以热切的声调向我的㹴[2]说（我如此试过多次），"嘿，嘿，它在哪里呢？"它立刻把这作为一种信号，表明有些东西有待猎取，一般先是急向周围注视，然后冲入最近的灌木丛，嗅寻是否有任何猎物，当什么都找不到的时候，它就向邻近的树上窥视，看看那里是否有松鼠。那么，这等行为不是明显地阐明了在它的心理中有一种关于某些动物有待发现和猎取的一般观念或概念吗？

如果自我意识这个名词的含义是，他会考虑他是从哪里来的，或者他将往哪里去，或者什么是生和死等等那样的问题，那么根据这个名词的这种含义，可以坦白地承认动物不具有自我意识。但是，一条老狗如果具有最好的记忆力和某种想象力，如它做梦所阐明的；我们怎能肯定它决不会考虑它过去在追猎中的乐趣或痛苦呢？这大概就是自我意识的一种形态。另一方面，如比希纳[3]所说的，智力低下的澳洲未开化人的辛苦劳动的妇人只能说很少的抽象言词，计数不能到四以上，她们所行使的自我意识或对其本身存在的考虑是何等之少。高等动物具有记忆力、注意力、联想力甚至

① 胡卡姆（Hookham）先生给马克斯·米勒（Max Müller）的一封信，见《伯明翰新闻》（Birmingham），1873年，5月。

② 一名"猛犬"，种类不少，大部分用以助猎。——译注

③ 《达尔文学说讨论会文集》（Conferénces sur la Théorie Darwinienne）法文版，1869年，132页。

某种想象力和推理力，已得到普遍承认。如果在不同动物中大不相同的这等能力能够改进，那么，通过比较简单智能的发展和结合，进化到比较复杂的智能，如抽象和自我意识等等的高级形态，似乎不见得就不可能。有人认为不可能说出在上升阶梯的哪一点动物变得能够进行抽象，等等，并以此极力反对这里所主张的观点；但是，有谁能说出我们的幼儿在什么年龄才有这种能力吗？至少我们知道，幼儿的这等能力的发展是以不可觉察的程度进行的。

动物保有它们的心理个性是没有问题的。当我的声音唤起上述那条狭在心理中的一连串联想时，它一定保有它的心理个性，虽然它的每一个脑原子在这 5 年期间大概不止一次地发生了变化。也许有人要利用这条狭把最近发生的辩论向前推进以打垮所有进化论者，说道："在所有心理状态和所有物质的变化中……我坚持认为，关于原子可以像遗产那样地把它们的印记留给落入它们所空出的位置中的其他原子的那种学说是与意识的表达相矛盾的，所以这种学说是虚假的；而这种学说正是进化论所必需的，因此进化的臆说也是虚假的。"①

语　言

这种能力已被公平地认作是人类和次级动物间的主要区别之一。但是，正如一位高度有才能的评论家惠特利大主教所说的，人类"并不是唯一的动物能够利用语言来表达其心理上所闪过的东西，并且多少能够理解他人如此表达出来的东西。"② 巴拉圭的一种卷尾猴当激动时至少可发出六种不同的声音，这些声音对另外

① 牧师麦卡恩(J. M'Cann)博士，《反达尔文主义》(Anti-Darwinism)，1869 年，13 页。

② 《人类学评论》(1864 年，158 页)引用。

一些猴可以激起相似的情绪①。伦格尔以及其他人士宣称，猴类的面貌动作和姿势能为我们所理解，而且它们也能部分地理解我们的。还有一个更加值得注意的事实：狗自从被家养之后，至少学会叫出②四到五个不同的音调。狗的吠叫虽是一种新技艺，但是狗的野生祖先无疑会以各种不同的叫声来表达它们的情感。关于家狗，有热切的叫，如在追猎中那样；有愤怒的叫以及不平的叫；失望的狺狺叫或嗥叫，如在被关起来时那样；夜间的空叫；欢乐的叫，如在陪伴主人开始出去散步时那样；还有一种请求或哀求的很独特的叫，如在要求开门或开窗时那样。赫祖特别注意过这个问题，他说，家鸡至少可发出 12 种有区别的声音③。

惯常使用有音节的语言，为人类所专能；但是，他也用无音节的喊叫，辅以姿势和面部肌肉的动作，来表达他的意思，这同次级动物无异④。当表达那些同我们高等智力很少关联的简单而活跃的情感时，尤其如此。我们的痛苦、恐怖、惊奇、愤怒的叫声，再加上恰如其份的动作，以及母亲对爱子的低沉连续的哼哼声，比任何言词都富有表达力。人类和次级动物的区别并不在于是否理解有音节的声音，因为，每一个人都知道，狗是理解许多字句的。在这方面，狗和 10 到 12 个月的婴儿处于相同的发育阶段，那时婴儿理解许多单字和短句，但连一个单字还不会说。我们区别于低等动物的特性并不仅仅在于有音节的语言，因为鹦鹉和其他一些鸟类也有这种能力。也不仅仅在于把一定声音和一定观念连接在一起的智能；因为有些鹦鹉当被教会说话之后，也可以准确地把字和物以及

① 伦格尔，同前书，45 页。
② 参阅我写的《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，27 页。
③ 《动物的心理能力》，第 2 卷，1872 年，346—349 页。
④ 在泰勒（E. B. Tylor）先生的很有趣味的著作《对人类初期历史的研究》（Researches into the Early History of Mankind）中有关于这个问题的讨论，1865 年，第 2 至第 4 章。

人和事联系在一起①。低等动物和人类之间的区别完全在于人类把极其多种多样的声音和观念联系在一起的能力几乎是无限大的，而这显然决定于其心理能力的高度发展。

宏伟的语言科学奠基人之一霍恩·图克论述，语言是一种技艺，就同酿酒和烤而包一样；不过书写也许是一个更好的直喻。这肯定不是一种真正的本能，因为每一种语言都必须学而知之。然而，语言和一切普通技艺都大不相同，因为人类有一种说话的本能倾向，如我们幼儿的咿呀学语就是这样；同时却没有一个幼儿有酿酒、烤面包或书写的本能倾向。再者，现在没有一位语言学家还假定任何语言是被审慎地创造出来的；它是经过许多阶梯缓慢地、无意识地发展起来的②。鸟类发出的声音在若干方而同语言极为近似，因为同一物种的所有成员都发出同样本能的鸣叫来表达它们的情绪；而所有能够鸣叫的鸟类都是本能地发挥这种能力；不过真正的鸣唱，甚至呼唤的音调，都是从它们的双亲或其养母养父那里

---

① 关于这种效果，我曾收到几份详细报告。海军上将沙利文(B. J. Sulivan)爵士，据我所知是一位谨慎的观察家，他向我保证说，在他父亲家中长期饲养的一只非洲鹦鹉可以准确地叫出某些家人和客人的名字。在吃早饭的时候，它向每一个人说"早安"，在夜间它又向每一个离开那间屋子的人说"晚安"，从来没将这两句问候话弄颠倒过。对沙利文爵士的父亲，它惯常在"早安"之后还要加上一个短句，可是自从他父亲死后，它一次也没有重复说过这个短句。它猛烈地责骂一条从窗户钻进屋去的生狗；它还责骂另一只逃出鸟笼去吃厨案上的苹果的鹦鹉："你这顽皮的家伙。"关于这同样效果，再参阅乌泽的《心理能力》，第2卷，309页，论鹦鹉。莫西科(A. Moschkau)博士告诉我说，他知道有一只欧椋鸟(Starling)永远能够无误地用德语向来人说"早安"，向那些离去的人说："再见，老朋友"。我还能再举出几个这样的事例。

② 参阅惠特尼(Whitney)教授关于这个问题的一些好意见，见他的著作《东方及其语言学的研究》(Oriental and Linguistic Studies)，1873年，354页。他观察到人类彼此之间的愿望交流，乃是一种生活力，这种生活力对语言的发展"有意识地或者无意识地发生作用；就达到直接目的而言，是有意识的；就此种行为的进一步结果而言，则是无意识的。"

学来的。戴恩斯·巴林顿①已经证明,"鸟类的鸣声同人类的语言一样,都不是天生就会的"。鸟类最初鸣唱的尝试"可以同一个幼儿不完全的咿呀学语的努力相比拟"。幼小的雄鸟要继续练习,或如捕鸟人所说的,它们要"录音"达10至11个月之久。在未来的鸣唱中几乎没有最初试鸣的一点痕迹;但当它们稍稍长大的时候,我们还能觉察出它们所欲学者为何事,最后,它们便被称为"能够圆润地唱歌"了。学会不同物种鸣唱的雏鸟,如在蒂罗尔训练的金丝雀,则把它们的新歌传教给其后代。栖息在不同地区的同一物种,它们的鸣唱有轻微的自然差异,如巴林顿所说的,这可以恰当地比作"各地方言";虽然属于不同物种,但亲缘关系近似者的鸣唱或可以比作人类不同种族的语言。我之所以举出上述细节是为了阐明,求得一种技艺的本能倾向并非人类所专有。

关于有音节的语言起源,当我一方面读了亨斯利·韦奇伍德先生、法勒牧师以及施莱歇尔②教授的最有趣味的著作,另一方面又读了马克斯·米勒教授的讲演集之后,我无法怀疑语言的起源应归因于:对各种自然声音、其他动物叫声以及人类自己的本能呼喊的模仿及其修正变异,并辅以手势和姿势。当我们讨论到性选择的时候将会看到,原始人类,更确切地说人类的早期祖先,大概最初用他们的声音来发出音乐般的音调,即歌唱,就象某些长臂猿今天所做的那样;根据广泛采用的类推方法,我们可以断定这种能力特别行使于两性求偶期间,——它会表达各种情绪,如爱慕、嫉妒

① 戴恩斯·巴林顿,《科学学报》,1773年,262页。再参阅马尔的文章,见《自然科学年刊》(*Ann. des. Sc. Nat.*),第3辑,动物部分,第10卷,119页。

② 《论语言的起源》(On the Origin of Language),韦奇伍德著,1866年。《语言问题》(Chapters on Language),法勒著,1865年。这是最有趣味的两种著作。再参阅《口头语的自然规律》(De le Phys. et de Parole),阿尔贝·勒穆瓦纳(Albert Lemoine)著,1865年,190页。已故的施莱歇尔教授关于这个问题的著作已被比克尔斯(Bikkers)博士译成英文,名为《受到语言学考验的达尔文主义》(Darwinism tested by the Science of Language),1869年。

以及胜利时的喜悦，——而且还会向情敌挑战。所以，用有音节的声音去模仿音乐般的呼喊，可能会引起表达各种复杂情绪的单词的发生。和我们亲缘关系最近的猴类，畸形小头的白痴[①]，以及人类的野蛮种族，都有一种强烈的倾向去模仿所听到的一切；这是值得注意的，因为同模仿问题有关。因为猴类理解人向它们说的话一定很多，而且在野生状况下会向其同伴发出作为危险信号的呼叫[②]；还因为家鸡会发出地面危险和空中有鹰类危险的两种不同警告(这两种叫声以及第三种叫声皆能为狗所了解)[③]，那么某种异常聪明的类猿动物曾经模仿食肉兽的吼叫，并且以此来告诉其猿类同伴所料想的危险性质，难道是不可能的吗?这大概是语言形成的第一步。

由于声音的使用日益增多，发音器官通过使用效果的遗传原理将会强化和完善化；并反过来对说话的能力又发生作用。但是，语言的连续使用和脑的发展之间的关系无疑更加重要得多。甚至在最不完善的语言被使用之前，人类某些早期祖先心理能力的发展一定也比任何现今生存的猿类强得多；不过我们可以确信，这种能力的连续使用及其进步，反过来又会对心理本身发生作用，促使其能够进行一系列的思想活动。一系列复杂思想，无论在说话时或不说话时，如果没有言词的帮助是无法进行的，正如不使用数字或代数就无法进行长的计算一样。甚至一系列普通思想似乎也需要某种形式的语言，或者被它大大推进，因为一个又聋又瞎的少女劳拉·布里奇曼曾被看到在梦中还打手势[④]。尽管如此，没有任何形

① 沃格特，《关于畸形小头的研究报告》，1867 年，169 页。关于未开化人，我在《航海研究日志》(1869 年)中举出过一些事实。

② 关于这个问题的明显证据，参阅经常引用的勃列姆和伦格的两种著作。

③ 乌泽在他的《动物的心理能力》一书中，举出过他对这个问题所观察到的一项很奇妙的记载。

④ 参阅莫兹利博士关于这个问题的意见，见《精神的生理学和病理学》，第 2 版，1868 年，199 页。

式的语言帮助，也可通过心理产生一连串活泼的和彼此联系的观念，因为从狗在梦中的动作可以做此推论。我们还知道，动物也能够进行一定程度的推理，这显然并不依靠语言的帮助。像我们现在这样发达的脑同说话能力之间的密切关系，从特别影响说话能力的那些脑病奇妙例子中得到了很好的阐明；例如，当记忆名词的能力失去之后，还能正确地使用其他单词，或者，还能记住某一类名词或全部名词，但忘记了这些名词的起首字母及其恰当的意义①。心理器官和发音器官的连续使用将导致它们在构造和功能上发生遗传的变化，这就像笔迹的情形那样，它部分地决定于手的形状，部分地决定于心理的倾向，而笔迹肯定是遗传的②。

几位作者、特别是马克斯·米勒教授③最近极力主张，语言的使用意味着要有形成一般概念的能力；没有任何动物被假定具有这种能力，因此，这就形成了人类和动物之间的一个不可逾越的鸿沟④。关于动物，我已经尽力阐明了它们至少以一种原始萌芽的程度具有这种能力。就10至11个月的婴儿来说，我简直不能相信他们能够把某些声音和某些一般观念那样迅速地在头脑中联系在一

① 关于此事，曾记载过许多奇妙例子，参阅贝特曼的《关于失语症》，1870年，27、31、53、100页及其他。再参阅《关于智力的调查》(Inquires Concerning the Intellectual Powers)，1838年，150页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，6页。

③ 关于《达尔文先生的语言哲学》的讲演，1873。

④ 杰出的语言学家惠特尼对于这一点的评论远比我所能说的更为有力。当谈到布利克(Bleek)的观点时，他说道(见《东方及其语言学的研究》，1873年，297页)，"因为语言广泛地是思想的必要辅助手段，思想赖此而发展，认识力赖此而达到清晰、丰富多采和复杂化，以至对意识的充分掌握；所以他不得不制造出没有语言就绝对不可能有思想的说法，把能力和它的工具等同起来。他好像有道理地断言，人手如果没有工具就不能起作用。从这种教条出发，他就不能不陷入米勒的最恶劣的谬论，谓婴儿(不会说话的)不是人类，聋哑人没有学会用手指模仿说话以前不具理性。马克斯·米勒用斜体字标出下面的警句("对于达尔先生的语言哲学的讲演"，1873年，第三讲)："没有无语言之思想，也没有无思想之语言"。他在这里给思想这个词所下的定义是何等荒谬！

起，除非这等观念已经在他们的头脑里形成了。同样的这种意见可以引伸到智力较高的动物；如莱斯利·斯蒂芬先生① 所观察的，“一条狗对猫和绵羊可以构成一般概念，而且可以像哲学家那样准确地知道与它们相称的字眼。理解的能力犹如说话的能力，很好地证明了运用语言进行表达的智力，虽然其程度较差。”

为什么现今用以说话的器官起始就已经为了这个目的达到了完善化的地步，而任何其他器官都不是这样，这并非难以理解，蚁类具有利用触角彼此交流信息的相当能力，胡伯尔已经阐明了这一点，他曾用整整一章来讨论蚁类的语言。我们可以用手指作为交流信息的有效手段，因为一个熟练此术的人能够把公共集会上说得很快的讲演词的每一个字用手势报告给聋人；但是这样被使用的双手一旦失去，必将造成严重的不便。所有高等哺乳动物都有发音器官，都是按照和我们同样的一般图式构成的，而且都是用作交流信息的手段，因此，如果交流信息的能力得到了改进，这等同样器官还会进一步发展，显然是可能的；相连的和十分适应的各部分，即舌和唇帮助了这一发展的完成②。高等猿类不会用发音器官来说话，无疑是决定于它们的智力还没有足够的进步。它们具有经过长期连续练习后才可用来说话的那些器官，但现在并没有这样用，这同具有适于鸣唱的器官但从来不鸣唱的鸟类事例是相似的。例如，夜莺和乌鸦都有构造相似的发音器官，前者能用它进行多种多样的鸣唱，而后者只能用它呱呱地叫③。如果问道，为什么猿类

① 《自由思想论文集》，1873年，82页。

② 关于这一效果，参阅莫德斯雷的一些好议论，见《心理的生理学和病理学》，1868年，199页。

③ 麦吉利夫雷（Macgillivray），《大不列颠鸟类》（British Birds），第2卷，1839年，29页。最优秀观察家布莱克瓦尔（Blackwall）说道，喜鹊（magpie）可以学会念出单词甚至短句，它们几乎比其他任何英国鸟都容易做到这一点；可是接着他又说，在长期周密地研究了它的习性之后，他从来没有发现它在自然状态下表现有任何模仿的异常能力。《动物学研究》，1834年，158页。

的智力没有发展到人类那样的程度，我们只能举出一般的原因作为回答；试想我们对各种生物所经过的发展诸连续阶段几乎一无所知，却希望做出更加明确的任何回答，都是于理不合的。

不同语言的形成和不同物种的形成，以及二者的发展都是通过逐渐过程，其证据是异常相似的①。但是，对于许多词的形成比对于物种的形成，我们可以向前追踪得更远，因为我们能够觉察词实际上是怎样来自对各种声音的模仿的。我们发现，不同的语言由于起源的共同性而彼此一致，还由于相似的形成过程而彼此类似。当其他字母或发音有所变化时，某些字母或发音就要随之变化，其方式同生长的相关作用很相像。在这两种场合中都有一些部分的重叠、长期连续使用的效果等等。无论在语言或在物种中都屡屡出现一些残留的遗迹，这就更加值得注意了。在“am”这个字中，m 表示 I 的意思，因此在“I am”这个词句中便保存了多余而无用的残留遗迹。还有，在字的拼法中也常常残留着作为古代发音形式遗迹的字母。语言有如生物，也可以逐类相分；既可以按照由来的系统进行自然分类，也可以按照其他特性进行人为分类。占有优势的语言和方言广为传播，并且导致其他语言的逐渐绝灭。一种语言有如一个物种，一旦绝灭，如莱伊尔爵士所说的，就永远不会再现。同一语言决没有两个发源地。不同语言可以杂交或混合在一起②。我们知道每一种语言都有变异性，而且不断地产生新的词；但是，由于记忆力有一个限度，所以词就像整个语言那样，会逐渐绝灭。正如马克斯·米勒③所恰当指出的：“各种语言的词和语法形式都在不

① 莱伊尔爵士在《关于人类的源远流长的地质证据》(1863 年，23 章)中指出，在语言发展和物种发展之间有很有趣的相似性。

② 关于这种效果，参阅法勒牧师在一篇题名《语言学和达尔文主义》(Philology and Darwinism)的论文中的意见，见《自然》(*Nature*)，1870 年，3 月 24 日，528 页。

③ 《自然》，1870 年，1 月 6 日，257 页。

断地进行着生存斗争。较好的、较短的、较易的形式永占上风，它们的成功应归因于它们本身固有的优点。”某些词的生存除了有上述那些比较重要的原因之外，还可以加入对新奇和时髦的爱好；因为在人类的心理中对所有事物的微小变化都有一种强烈的爱好。在生存斗争中，某些受惠的词的生存或保存乃是由于自然选择。

许多野蛮民族的语言构造是完全规律而异常复杂的，这常常被提出以证明这些语言起源于神，或者证明这些语言的创始者具有高度的技艺和固有的文化。例如，冯·施勒格尔写道：“在那些看来似乎是智育程度极低的语言中，我们屡屡观察到在其语法构造上有很高程度的和精心制作的技艺。巴斯克语①和拉普语②以及许多美洲语言尤其如此”。③ 但是，如果认为语言是被精心地和有条理地构成的，就把任何语言都说成是一种技艺，肯定是错误的。语言学者现已承认动词各种变化形式、词尾变化形式等等原本都是作为不同的单词存在的，后来才结合在一起了；这等单词表达了人和物之间的最明显的关系，因此，它们在最古时代为大多数种族的人所使用，就不足为奇了。下述的例证最好地阐明了我们在完善化这个问题上多么容易犯错误：一种海百合有时是由不下 15 万个壳片构成的④，所有壳片的排列都以放射线状而完全对称，但博物学者们并不认为这种动物比两侧对称的动物更为完善，后者身体的诸部分比较少，除了身体两侧的各部分彼此相像以外，其余部分都不相像。他公正地把器官的分化和专业化看作是对完善化的检验。关于语言，也是如此：最对称的、最复杂的语言不应被列在没有规律的、简略的以及混杂的语言之上，所谓混杂的语言就是从各种征服别人的种族、被征服的种族以及移入的种族那里借人了一些

① 欧洲比利牛斯山西部地区古老居民的语言。——译注
② 分布在挪威、瑞典、芬兰和苏联各国北部的拉普人的语言。——译注
③ 韦克(C. S. Wake)在《论人类》(Chapters on Man)101 页引用。
④ 巴克兰(Buckland)，《布里奇瓦特尔论文集》，411 页。

表达力强的词和语言构造的有益形式。

根据这些不完善的少数议论，我断言，许多野蛮人语言的极其复杂和极其规律的构造不足以证明，语言是起源于一种特殊的创造行为[①]。正如我们已经看到的，有音节语言的能力实质上没有提供出任何不可排除的理由来反对人类是从某一低等类型发展而来的信念。

审美感

这种感觉曾被宣称为人类所专有。我这里谈到的只是关于由某些颜色、形状和声音所引起的愉快，这或者可以恰当地被称为对美的感觉；然而对文明人来说，这等感觉是同复杂的观念和一系列的思想紧密地联合在一起的。如果我们看到一只雄鸟在雌鸟之前尽心竭力地炫耀它的漂亮羽衣或华丽颜色，同时没有这种装饰的其他鸟类却不进行这样炫耀，那就不可能怀疑雌鸟对其雄性配偶的美是赞赏的。因为到处的妇女都用鸟类的羽毛来打扮自己，所以这等装饰品的美是无庸置辩的。我们在以后几章中将会看到，蜂鸟的巢和造亭鸟的游戏通道都用鲜艳颜色的物件装饰得很优雅；这阐明它们见到这些东西后一定会感到某种愉快。然而，就我们所能判断的来说，大多数动物对于美的爱好仅限于吸引异性。许多雄鸟在求偶季节所倾吐的甜蜜歌声，肯定会得到雌鸟的赞赏；关于这个事实的证据，以后再举。如果雌鸟不能够欣赏其雄性配偶的美丽颜色、装饰品和鸣声，那么雄鸟在雌鸟面前为了炫耀它们的美所做出的努力和所表示的热望，岂不是白白浪费掉了；这一点是不可能予以承认的。为什么某些鲜艳的颜色会激起快感，我以为所能解释

① 关于语言的简化，参阅卢伯克爵士的一些好议论，见《文化的起源》(Origin of Civilisation)，1870年，278页。

的，不会比对于某些味道和气味何以会令人感到愉快的解释更多；但是，习性对于这个结果一定有些关系，因为有些东西最初使我们感官不舒适，但终于使它们舒适了，而且习性是遗传的。关于声音，为什么和声与某些音调令人感到悦耳，赫姆霍尔兹根据生理学原理在一定程度上对此提出了解释。但是，除此之外，在不规则的时间内经常翻来覆去的声音最叫人厌烦，凡是在夜间听过缆绳不规则地拍打船板的人都会承认这一点。同一原理似乎也适用于视觉，因为眼睛喜欢看到对称或规则地循环出现的图形。甚至最低等的未开化人也把这种图案用作装饰品；通过性选择，这等图案发展为某些雄性动物的装饰。对于这样来自视觉和听觉的愉快，不论我们能否提出什么理由，总归人类和许多低等动物都一样地喜欢同样的颜色、同样的优雅色调和形状以及同样的声音。

对于美的爱好，并非人类精神中的一种特殊本性，至少就妇女的美而论是如此；因为，在不同的人种中这种爱好大不相同，甚至在同种的不同民族中也不完全一样。根据最不开化人对丑陋的装饰品以及对同等丑陋的音乐的赞赏来判断，可以认定他们的审美能力还没有发展到某些动物，例如鸟类那样的高度。显然没有什么动物能够赞赏诸如夜晚的天空、美丽的山水那样的景色，或优美的音乐；但是，这等高尚爱好是通过教养才获得的，而且依靠复杂的联想；野蛮人或没有受过教育的人不会欣赏它们。

许多这等官能曾对人类向前的进步做出了不可估量的贡献，诸如想象，惊异，好奇的能力，没有界限的审美感，模仿的倾向，对刺激或新奇的喜爱，几乎不能不导致风俗和时尚发生不定的变化。我之所以提出这一点，是因为最近一位作者① 奇怪地把不定性作为“未开化人和兽类之间的最显著的、最典型的差异之一”。但是，我们不仅能够部分地理解人类怎样由于各种相互冲突的影响而成

① 《旁观者》(The Spectator)，1869年，12月4日，1430页。

为不定性的，我们还能部分地理解低等动物，如此后即将看到的那样，在其爱好、厌恶以及审美感方面也是不定的。还有理由来设想，它们也爱新奇，只是为了那是新奇的缘故。

神的信仰——宗教

还没有证据可以证明，人类本来就赋有对于一位万能上帝存在的崇高信仰。恰恰相反，有充分的证据可以证明，曾经有、现在依然有为数众多的种族没有一神或多神的任何观念，而且在他们的语言中从来没有表达这一观念的字①。当然，这个问题同是否存在有一位主宰宇宙的创造者和统治者那种更高的问题完全是两码事；而在最高级的知识界中有些人已经对后一问题做了肯定的答复：确是存在的。

如果我们把对灵魂世界或精灵作用的信仰包括在"宗教"这一名词之内，那就完全是另一回事了，因为文化较低的种族似乎普遍都有这种信仰。关于它是如何发生的，并不难说明。一旦想象、惊异、好奇那些重要官能以及某种推理能力部分地有所发展之后，人类自然会渴望理解在他周围发生的情况，而且还会对其本身的存在模糊地进行思考。雷南先生② 曾经说过，"人一定要对生命现象为自己想象出某种解释，根据这种解释的普遍性来判断，人最初想到的最简单的臆说似乎曾经是，自然现象可以归因于在动物、植物和物品中，以及在自然界的力量中，都存在有主使运动的精灵，这种精灵同人自觉他本身所拥有的精灵是一样的。"正如泰勒先生所

---

① 关于这个问题，参阅法勒牧师所写的一篇最优秀的论文，见《人类学评论》，1864 年 8 月，217 页。关于进一步的事实，参阅拉卜克爵士的《史前时代》，第 2 版，1869 年，564 页；特别是《文化起源》（1870 年）有关宗教的篇章。

② 《对动物和植物的崇拜》（The Worship of Animals and Plants）见《双周评论》（*Fortnightly Review*），1869 年，10 月 1 日，422 页。

阐明的，梦境也许是发生精灵概念的起因，这也是可能的；因为未开化人不会很快地把主观印象和客观印象区别开。当一个未开化人做梦时，他相信出现在他面前的形影是从远方来的，并且是监视他的；或者，“作梦人的灵魂在旅途中出了窍，把所见到的都记在心中而回到家里。”① 但是，当想象、好奇、推理等等能力在人类精神中相当完善地发展之前，他的梦境不会引导他去相信精灵，这和狗在作梦后不会这样是相同的。

有一次我曾注意到一件小事情，也许它可以说明未开化人有一种倾向去想象给予自然物体或自然力量以生命的是精灵的或活的实体：我有一只狗，已达到成年，而且很聪明，在一个炎热而宁静的白天里它卧在一片草地上；在距它不远的地方，放着一把张开的阳伞，微风不时把它吹动，如果有人在阳伞的旁边，这条狗就完全不去理睬它。事实上，当阳伞旁边没有人时，无论什么时候只要阳伞稍微一动，这条狗就要凶猛地吠叫。我想，它一定以迅速而无意识的方式给自己推论出，没有任何明显原因的阳伞活动，暗示了有某种奇怪的活的力量存在，而且它认为陌生者没有权力在它的领域内停留。

对精灵作用的信仰将会容易地变为对一神或多神存在的信

① 泰勒，《人类的早期历史》(Early History of Mankind)，1865 年，6 页。再参阅卢伯克的《文化的起源》(1870 年)中关于宗教发展那引人注目的三章。赫伯特·斯宾塞先生在《双周评论》(1870 年，5 月 1 日，535 页)的一篇有独创性的论文中以相似的方式说明了全世界宗教信仰的最初形式，谓人类通过梦境，形影以及其他原因的引导，把自己看成是双重的实体，即肉体的和灵魂的。由于设想死后灵魂还存在，而且富有威力，所以用各种祭品和仪式向它祈求赎罪和保佑。于是他进一步阐明，用某种动物或其他物品给一个部落的早期祖先或创始人所起的名字或绰号，经过长期以后就会被设想为代表这个部落的真实祖先；这个动物和物品自然地会被信为依然存在的灵魂，并且把它视为神圣，作为一位神而受到崇拜。尽管如此，我不能不猜想，还有一个更早的、更原始的阶段，以为那时任何显示有力量和运动的东西都被赋予了和我们自己近似的某种生命形态和心理官能。

仰。因为未开化人自然会认为我们所感到的同样的情欲，同样的对复仇或简单形式的正义的喜爱以及同样的慈爱，均系精灵所赐。火地人在这方面似乎居于中间状态，因为，当贝格尔舰上的军医射击一些幼鸭做标本时，火地人约克·明斯特以最严肃的态度宣称："唉呀，拜诺先生，要下大雨、下大雪、刮大风呀"；显然这是对糟踏人类食物的一种报应的惩罚。他又说道，他的弟弟杀了一个"野人"，于是风暴肆虐很久，而且下了大雨和大雪。然而我们从来没有发现过火地人信仰我们所谓的上帝，或者实行任何宗教仪式；火地人吉米·布顿以一种情有可原的骄傲态度坚定地主张，他的家乡没有魔鬼。他的这种主张更加值得注意，因为未开化人信仰恶的精灵远比信仰善的精灵更加普遍得多。

宗教信仰的感情是高度复杂的，其中包括爱，对崇高的和神秘的居上位者的绝对服从，强烈的信赖感①、恐惧、崇敬、感激以及对未来的希望，也许还有其他因素。没有任何生物能够体验如此复杂的一种感情，除非他的智力和道德官能至少进步到中等高度的水平。尽管如此，我们还会看到狗对主人的深爱，结合着它的完全服从、某种恐惧心，也许还有其他情感已经遥遥地多少向着上述那种心理状态接近了。一条狗在离别后又回到主人那里的态度，我还可以接着指出，一只猴在离别后又回到它所喜爱的饲养员那里的态度，和对它们同群的态度大不相同。在离别后与同群再见时，欣喜若狂的劲儿似乎多少要小一些，而且在每一个动作中都显示了平等感。布劳巴赫教授甚至主张，狗把它的主人看成是一位神。②

同样水平的心理官能最初引导人去信仰看不见的精灵作用，

① 参阅欧文·派克(L. Owen Pike)先生的一篇富有才智的文章，见《人类学评论》，1870年，4月，63页。

② 《宗教、道德等与达尔文学说》(Religion, Moral, Sc., der Darwin'schen Art-Lehre)，1869年，53页。据说(林赛博士，《心理学杂志》，1871年，43页)，培根(Bacon)很久以前以及诗人伯恩斯(Burns)均持有同样见解。

然后是信仰拜物教，多神教，最终是一神教；只要他的推理力保留在不发达的状态下，这种水平的心理官能一定会引导人产生各式各样奇怪的迷信和风俗。其中有好多令人想着都害怕。例如，把人作为牺牲品献给嗜血的神；用服毒或蹈火的神裁法去审讯无辜的人；巫术等等——对于这等迷信不时地进行些思考是有好处的，因为它阐明了我们应该多么感激我们理性的进步、科学，以及我们积累起来的知识所赐予的无限恩惠。正如卢伯克爵士[①]所正确观察的，"不必过多地说些什么就可明白，对于未知的灾祸所抱有的那种可怕的畏惧，就像一层厚云那样笼罩在未开化人的生活之上，使他们只有痛苦，没有欢乐。"人类最高能力所产生的这等不幸的和间接的结果可以同次级动物本能所附带发生的偶然错误相比拟。

① 《史前时代》，第2版，571页。在这部著作中，关于未开化人的变化无常的奇异风俗有最好的记载。

第　四　章

人类同次级动物的心理能力比较(续)

道德观念——基本命题——社会性动物的属性——社会性的起源——相反本能的斗争——人类是一种社会性动物——比较持久的本能战胜比较不持久的本能——未开化人唯独重视社会美德——自重美德是在较晚发展阶段获得的——同群公众对善恶行为评判的重要性——道德倾向的遗传——提要

有些作者[1] 主张在人类和次级动物之间的一切差异中,道德观念,即良心是最重要的;我完全同意这一论断。正如麦金托什[2]所指出的,道德观念"理所应该地凌驾于其他任何人类行为的准则之上";它的高深意义可以总结在简短而重要的"应尽义务"这个词中。它是人类所有属性中最高尚的一种属性,引导他毫不迟疑地冒着自己生命的危险去保护同伙的生命;或者,经过适当的深思熟虑之后,仅仅由于对权力和义务的深刻感觉,而被迫在某种伟大事业中牺牲自己的生命。康德[3]喟然叹曰,"义务!不可思议之思想乎,其工作既不由献媚求宠,亦不由威胁恐吓,而仅仅由灵魂中所高举之无私法律,因此,纵然不能强取对汝永远遵从,亦将强取对汝永远敬畏;一切欲望无论如何秘密地进行反抗,在汝之前均哑然无

---

① 关于这个问题,参阅卡特勒法热(Quatrefages)的《人种的一致性》,1861 年,21页及其他。

② 《关于伦理学的论述》(Dissertation on Ethical Philosophy),1837 年,231 页及其他。

③ 德国哲学家(1724—1804)。——译注

声，汝果从何而生乎?"①

许多才华横溢的作者② 已对这个伟大问题进行了讨论；我触及这个问题的唯一可取之处，仅在于不可能在这里对它略而不谈；而且还在于，就我所知道的来说，还没有人完全从博物学方面来探讨过这个问题。这一研究还有某种独立的趣味，可以作为一种尝试来看。对次级动物的研究可以把人类最高心理官能之一说明至何种程度。

在我看来，下述命题是高度可能的——即，无论何种动物，只要赋有十分显著的社会本能③（包括亲子之情），一旦其智力发展得像人类的那样完善，或者差不多那样完善，就必然会获得一种道

① 《伦理的形而上学》(Metaphysics of Ethics)，森普尔(J. W. Semple)译，爱丁堡，1836年，136页。

② 关于这个问题写过著作的，贝恩(Bain)先生列过一个20位英国作家的名单《心理学和道德学》(Mental and Moral Science)，1868年，543—725页，他们的名字素为人人所熟悉；在这些人士中似乎还可以加入贝恩先生自己的名字，以及莱基(Lecky)先生、沙德沃思·霍奇森(Shadworth Hodgson)先生、卢伯克爵士以及另外几位的名字。

③ 布罗代(B. Brodie)爵士在论述人类是一种社会性动物之后问道(《心理学探究》Psychological Enquires，1854年，192页)："关于道德观念是否存在的问题的争论，应该由此得到解决吧?"许多人似乎都有过同样的看法，如古代的罗马皇帝兼哲学家玛卡斯·奥瑞利亚斯(Marcus Aurelius)就是其中之一。米尔(J. S. Mill)在其著名的著作《功利主义》(Utilitarianism，1864年，45、46页)一书中说道："社会感情是一种强有力的自然感情"，而且是对功利主义道德的感情之自然基础"。他又说，"道德官能就像上述后天获得的智能那样，如果不是本性的一部分，也是从那里自然生长出来的；而且像它们那样，能够在一定微小程度上自然发生"。但是，同所有这种说法相反，他还指出："据我所信，道德感情不是先天的，而是后天获得的，但并不因此而不是自然的"。对于如此渊博的一位思想家的看法，我大胆提出完全不同的意见，确有些踌躇，但几乎无可争辩的是，社会感情在低等动物中乃是本能的或先天的；那么，社会感情在人类中为什么不应如此呢？贝恩先生(例如，参阅《情绪与意志》，The Emotions and the Will，1865年481页)以及其他人士相信，道德观念乃是每个人在其一生期间所获得的。根据进化的一般理论，至少这是极端不大可能的。在米尔先生的著作中对所有遗传的心理属性的忽视，我以为今后将被评价为最严重的缺点。

德观念、即良心。这是因为，第一，社会本能可以导致一种动物以和其同伙营社会生活为乐，对其同伙有一定程度的同情心，并且为其同伙进行各种服务。这种服务可能具有一种明确的和显然是本能的性质；或者可能只是一种希望和思想准备，如大多数高等社会性动物以某些一般的方式去帮助它们的同伙那样。但是，这种感情和服务仅施于它们的同伙，决不会扩大到同一物种的所有个体。第二，一旦心理官能变得高度发达之后，所有过去的行为和动机的意象将不断地在各个个体的头脑中通过；如我们以后就要看到的，由任何不满足的本能而必然发生的不满足的感情、甚至痛苦、像常常被觉察到的那样，将会引起持续而永在的社会本能让位给其时较强的某种其他本能，但后者的性质并非是持续的，也不给后来留下很鲜明的印象。显然，许多本能的欲望，如饥饿，在性质上其持续是短暂的；而且一旦得到满足之后，就不会容易地或者鲜明地被回忆起来。第三，当语言能力被获得并且公共愿望能够被表达之后，各个成员为了公共利益应该如何行动的舆论，自然会成为指导行为的最高准则。但是，应该记住，不论我们认为舆论力量有多大，我们对于同伙的称赞和非难还决定于同情心；如我们即将看到的，同情心形成了社会本能的主要部分，而且是它的基石。最后，个体的习性在指导各个成员的行为方面，起了很重要的作用；因为，社会本能连同同情心，就像其他任何本能那样，大大地被习性所强化了，因而就要遵从公众的愿望和评判。现在必须对这几个从属的命题进行讨论，有些还要以相当篇幅进行之。

最好预先声明一下，我并非要主张，任何严格社会性动物的智能如果变得像人类的那样灵敏，那样高度发达，它就会获得和人类完全一样的道德观念。各种动物都有审美感，虽然它们所赞美的对象大不相同，同样地，各种动物大概都有是非感，虽然由此而导致遵从的行为界线大不相同。举一个极端的例子来说明，例如，人的养育条件如果同蜜蜂的完全一样，那么几乎无可怀疑的是，未婚妇

女就会像工蜂那样地把杀死她们的兄弟视为神圣的义务，同时母亲们也要努力杀死其能育的女儿，而且不会有任何人想到去进行干涉。① 尽管如此，我以为蜜蜂或任何其他社会性动物在我们那个假定的场合中将会获得某种是非感或良心。因为各个个体都有一种内省，这种内省具有某些较强的或较持久的本能以及不甚强的或不甚持久的本能，所以对于遵从何种冲动，将经常进行斗争；而且，由于过去的印象当不断通过头脑时要进行比较，因而将会感到满足，不满足，或者甚至痛苦。在这种情况下，内在的告诫者将告诉这种动物遵从某一冲动会比遵从另一冲动为好。某种行动方向应该被遵从，另外行动方向不应该被遵从；某种行动方向是正确的，另外行动方向是错误的；不过关于这些问题，以后还要谈及。

社会性

许多种类的动物都是社会性的；我们发现甚至不同物种也在一起生活；例如，某些美洲猴类，以及合群的秃鼻乌鸦、寒鸦和欧椋鸟，都是这样。人类对狗的强烈爱好，表现了同样的感情，狗也高兴地报答他们。大家一定都曾注意到，当马、狗、羊等离开它们的同伴

---

① 西奇威克(H. Sidgwick)对这个问题进行过很好的讨论(《科学院报告》,(Academy),1872 年,6 月 15 日,231 页。)："我们可以肯定，一只优良的蜜蜂大概渴望用比较温和的方法去解决种群数量问题的"。然而，根据许多或大多数未开化人的习惯来判断，人类是用杀害女婴、一妻多夫以及男女乱交来解决这个问题的，所以，可充分怀疑这是否为比较温和的方法。科比(Cobbe)女士对上述说法也进行过评论，说道[《达尔文主义在道德观上的应用》,(Darwinism in Moral)，见《神学评论》(*Theological Review*),1872 年,4 月,188—191 页]：社会义务的原则将如此而被颠倒；我以为她所说的意思是，履行社会义务将危害个体；但她忽视了她必须承认的一个事实，即蜜蜂的这种本能被获得乃是为了群体的利益。她甚至说道，如果本章所提倡的伦理学原理确能被普遍接受，"我将不得不相信，其胜利之时，即为人类美德的丧钟敲响之日！"可以期望，众多人士对这个地球上人类美德永存的信念是并非如此短命的。

时表现得多么悲惨，而以前曾在一起的两个种类至少在重聚时所显示互爱之情是何等强烈。一条狗同它的主人或其他任何家庭成员在室内可以安静地一连卧上几个小时，一点也不必去理会它；但是，让它自己呆在那里，即使时间不长，它也要忧郁地吠叫；思索一下狗的这种情感是多么奇妙吧。我们将把注意力局限于高等社会性动物；至于昆虫，则略去不谈，虽然它们有些也是社会性的，而且以许多重要方式彼此互助。在高等动物中最普通的相互服务，就是利用全体的统一感觉彼此发出危险警告。正如耶格尔博士① 所说的，每一个猎人都知道，要想接近成群的动物是多么困难。我相信野马和野牛不发任何危险信号；但是，它们当中的任何一个最先发现敌对者时，就会用姿态来警告其他成员。兔用后腿跺地发出高声作为信号；羊和小羚羊则用前脚跺地，发出的声响好像口哨，以为信号。许多鸟类以及某些哺乳类动物都放岗哨，据说海豹一般是由雌者担当这项任务的②。一群猴的头头所做所为均如岗哨，它发出表示危险以及表示安全的叫声③。社会性动物彼此还做些小服务：马彼此互啃痒处，牛则彼此互舐痒处；猴彼此捉身上的寄生虫；布雷姆叙述，当一群灰绿长尾猴冲过一片棘刺很多的林丛之后，各猴都在树枝上伸展肢体，另一只猴坐在旁边，“认真地检查它的毛皮，把每一根棘刺都拔掉”。

动物彼此服务，还有更为重要的：例如，狼以及某些其他食肉兽成群猎食，在攻击其猎物时彼此互助。鹈鹕捉鱼时相互协作。阿比西尼亚䴙猴一齐翻转石头去找昆虫，等等；当遇到一块大石头

① 《达尔文学说》(Die Darwin'sche Theorie)，101 页。

② 布朗(R. Brown)先生，《动物学会会报》，1868 年，409 页。

③ 布雷姆，《动物生活》(Thierleben)，第 1 卷，1864 年，52，79 页。关于猴彼此从拔掉扎在身上的棘刺，参阅 54 页。关于树精狒狒翻动石头，是根据阿尔瓦雷斯(Alvarez)提出的证据(76 页)布雷姆认为他的观察是十分可靠的。关于老雄狒狒攻击狗的例子，参阅 79 页；关于鹰的例子，参阅 56 页。

时，在它周围能站多少只就站多少只，共同把它推翻，而且分享所获之物。社会性动物还彼此相助以保卫自己。美洲野牛当有危险时就把母牛和牛犊赶到牛群的当中，它们在外围进行防卫。我还要在下一章举出一项记载，表明奇岭哈姆园囿中的两头小野公牛彼此协作向一头老公牛进行攻击，还有两匹公马一齐试图把另一匹公马从母马群中赶跑。勃列姆曾在阿比西尼亚遇到过一大群狒狒，它们正在穿过一个山谷；有些已经登到对面的山上，有些还在山谷中：这时众狗向后者发动攻击，于是老雄狒狒立即从山上急驰而下，大张其口，凶猛吼叫，以致众狗吓得疾引而退。后来众狗受到鼓动，再次进行攻击；不过所有狒狒这时已登上山顶，但还落下一只六个月左右的小狒狒，它高声呼助，爬上一块岩石，并且受到了众狗的包围。这时一只最大的雄狒狒，一位真正的英雄，又从山上下来，徐徐走近那只小狒狒，哄着它，得意洋洋地领它走开——众狗对此感到惊讶不止，以致停止了攻击。我不能不谈一谈另一个场面，这是上述同一位博物学者亲眼所见的；有一只鹰抓住了一只小长尾猴，由于它紧紧握住树枝，没有能够立即把它带走；这只小长尾猴高声呼助，在树上的这群猴的其他成员大事喧嚣，急来相救，把那只鹰团团围住，拔掉它的羽毛如此之多，以致它不想再捕获猎物，而考虑如何溜之大吉了。正如布雷姆所说的，这只鹰肯定永远不会再攻击猴群中的单独一只猴了①。

合群的动物肯定有一种彼此相爱的感情，不合群的成年动物没有这种感情。在大多数场合中，它们对于其他动物的痛苦和快乐实际上究竟能同情到怎样程度，是很可疑的，关于快乐尤其是如

---

① 贝尔特(Belt)先生举过一个尼加拉瓜的蛛猴例子，人们听到它在树林中大喊大叫差不多达两个小时之久，并且发现有一只鹰落在它的近旁。显然当它们面对面时，鹰不敢发动攻击；贝尔特先生根据他对这些猴的习性的观察，相信它们三两只聚在一起，防备鹰的攻击。《博物学者在尼加拉瓜》，1874年，118页。

此。巴克斯顿先生掌握了极好的观察方法[①]，然而他写道，他在诺福克自由放养的金刚鹦鹉对一对有巢的同类非常有兴趣；每当那只雌鸟离巢的时候，就被一群幼鸟围住，呜呜地狂叫，向她示敬。动物对其同类其他成员的痛苦是否抱有什么感情，常常是难于判断的。当众牛环绕并且目不转睛地注视其将死的或死去的同伴时，谁能说出它们有何种感觉呢；然而，如赫祖所说，它们显然并无怜悯之情。动物有时完全没有同情感，是非常确实的；因为，它们把受伤的动物赶出群外，或者把它们抵死，要不就把它们咬死。这几乎是博物学中的一个最黑暗事实，除非对这个事实所提出的解释是正确的，即，它们的本能或理性导致它们把一个受伤的同伴赶出群外，免得食肉兽——包括人类在内——被引诱去追猎全群。在这种情况下，它们的行为并不比北美印地安人的更坏，后者把病弱的亲密同伴丢在荒原之上任其死亡；或者，也不比斐济人的行为更坏，他们把年老的或患病的父母活活埋掉[②]。

然而，许多动物肯定彼此同情对方的苦痛或危险。甚至鸟类亦复如此。斯坦斯伯里船长[③]在犹他的一个盐湖上发现一只完全瞎了的老鹈鹕，但它很肥，一定曾经长期由其同伴给予很好的喂养。布赖茨先生告诉我说，他看见过印度的母牛喂养两三个瞎牛；我曾听说过一个近似的事例，是关于家养雄鸡的。如果我们喜欢把这等行为叫作本能的，那也可以；不过对于任何特殊本能的发展来说，这等例子实在是太少了[④]。我亲自见到一条狗，是一只猫的伟大朋友，当这只猫卧病在篮中时，那条狗每次经过那里，总要用舌头把

---

① 《博物学杂志年刊》(*Annals of Mag. of Nat. Hist*)，1868年，11月，382页。

② 卢伯克爵士，《史前时代》，第2版，446页。

③ 摩尔根先生引用，《美洲河狸》(The American Beaver)，1868年，272页。斯坦斯伯里还做过一个有趣记载：一只很小的鹈鹕被激流冲跑，有六只老鹈鹕从旁鼓励它游向岸边。

④ 贝恩先生述说，"从适当的同情心可以产生对于一个受难者给予有效的帮助"，《心理学与道德学》，1868年，245页。

猫舐几下，这是狗表示亲善感情的最可靠信号。

一条勇敢的狗当其主人受到任何人的攻击时，它一定向他猛扑上去，引导狗这样行动的，一定可以叫作同情心。我曾看到一个人假装去打一位妇女，在她的膝上正好有一条胆怯的小狗，而且以前从未做过这样的试验；这个小东西立刻跳下来跑开了，但当假装的殴打完了之后，它是多么固执地要舐女主人的脸，对她进行安慰，看到这种情景的确使人感动。布雷姆[①] 陈述，当对一只圈养的狒狒实行惩罚时，其他狒狒就努力保护它。在上述场合中，导致狒狒和长尾猴去保护它们幼小的亲密同伴不受狗和鹰之害的，一定是同情心。我再举另外一个有关同情的和英雄的行为的事例，这是关于小美洲猴的。几年之前伦敦动物园的一位饲养员叫我看他颈背上一条刚刚愈合的深伤痕，那是他跪在地板上时被一只凶猛的狒狒弄伤的。有一只小美洲猴，是这位饲养员的亲热朋友，它同那只大个狒狒居住在同一大间猴室内，而且对狒狒怕得要命。尽管如此，小美洲猴一看到它的朋友处于危险之中，还是立即猛冲来救，狂叫乱咬，把那只狒狒弄得昏头转向，饲养员才得以跑开，事后外科医生认为他逃脱了一次生命的大危险。

除去爱和同情之外，动物还表现有同社会本能有关系的其他属性，这在人类来说可以称为道德；我同意阿加西斯[②] 的看法，他认为狗也具有某种很像良心那样的品质。

狗有某种自制的能力，看来这并不完全是恐惧的结果。布劳巴赫说[③]，狗当主人不在时会抑制自己不偷吃东西。长期以来大家都承认狗是忠诚和顺从的真正模范。但象同样也是很忠于驾象人或饲养人的，可能把他们视为象群的领袖。胡克博士告诉我说，他在

---

① 布雷姆《物种的生活》(Thierleben)，第1卷，85页。

② 《物种的分类》，1869年，97页。

③ 《关于达尔文学说》，1869年，54页。

印度骑的一头象有一次陷入泥沼中如此之深，以致到次日都无法自拔，后来还是用绳索把它从泥沼中拉出来的。在这种情况下，象总是用鼻子卷住任何东西，不管是活的还是死的，把它们放在膝下，以免在泥沼中陷得更深；这时驾象人深怕把胡克博士捉到，把他踩死。但胡克博士有把握地说，驾象人自己那时不会有这种危险。这种沉重的动物在如此可怕的危急中所表现的自制，乃是其高尚忠诚品质的惊人证明[①]。

所有合群生活的并且彼此协同保卫自己或攻击敌对者的动物，在某种程度上一定是彼此忠实的；而那些追随一个领袖的动物，在某种程度上一定是服从的。在阿比西尼亚，当一群狒狒劫掠果园时[②]，它们毫不作声地追随着领头的狒狒；如果有一只冒失的小狒狒竟然喧闹，别的狒狒就会给它一掌，教它安静和服从。高尔顿先生有极好的机会去观察南非的半野生牛，他说[③]，它们甚至片刻也不离开牛群。它们本质上是奴性的，接受公共的决定；如果被任何一头有足够自信心担任领导的公牛去领导它们，那就是碰上了最好的运气。训练这等牛作为使役之用的人们孜孜不倦地注视着那些离群吃草而表现有自信心的牛，并且把这样的牛作为带头牛进行训练。高尔顿先生接着又说，这样的牛是罕见的而且是值钱的；如果生下来的牛很多是这样的话，它们很快就要被消灭掉了，因为狮子总是注意那些离群徘徊的个体。

关于引导某些动物联合在一起并且以多种方式彼此互助的冲动，我们可以推论，在大多数场合中是由实行其他本能活动时所体

① 再参阅胡克的《喜马拉雅旅行记》(Himalayan Journals)第2卷，1854年，333页。

② 布雷姆，《动物的生活》，第1卷，76页。

③ 参阅他的一篇极有趣的论文：《牛类和人类的群居生活》(Gregariousness in Cattle and in Man)，见《麦克米伦杂志》(*Macmillan Mag.*)，1871年，2月，353页。

验到的同样满足感或快乐感来推动的；要不就是当其他本能活动受到抑制时，由同样的不满足感来推动的。我们在无数事例中看到这种情形；而且由我们家养动物后天获得的本能以显著的方式给予了阐明；例如，一条年幼的牧羊狗以驱赶和驰绕牛群为乐，但并不咬它们；一条年幼的猎狐狗以猎狐为乐，而有些其他种类的狗，如我亲眼所见，却完全不理会狐。一定有一种非常强烈的内在满足感推动着一只充满活动力的鸟日复一日地去孵卵。候鸟如被阻止不能迁徙，是会十分痛苦的；也许它们会享受开始长途飞行的乐趣；奥杜邦描写一些可怜的不会飞的鹅到了一定时期也要开始徒步跋涉约一千英里以上，很难相信它们对此会感到什么乐趣。有些本能完全是由痛苦感情如恐惧所决定的，恐惧会导致自我保存，并且在某些场合中是指向特种敌对者的。我设想，没有人能够分析快乐的或痛苦的感觉。然而，在许多事例中，大概是仅仅由于遗传的力量，本能就会固执地发生，而无须快乐或痛苦的刺激。一条年幼的向导猎狗当第一次嗅出猎物时，显然不会不把头指向猎物。笼中松鼠轻轻拍打那些它不能吃掉的坚果，好像要把它们埋入地下，简直无法想象它们这样就是由于快乐，还是由于痛苦。因此，普通假定人们的每一个行为一定都是由快乐的或痛苦的经验所推动，可能是错误的。虽然遵从一种习性可能是盲动的和含蓄不明的，而且那时既不感到快乐，也不感到痛苦，但是，如果它突然地受到强有力的抑制，一般就会体验到一种不满足的模糊感觉。

常有这种假设：动物原本就是社会性的，其结果便是它们在彼此离散之后感到不舒适，而群居在一起则感到舒适；但可能更合理的观点是，这等感觉的最初发展，乃是为了诱使那些可以从社会生活中获益的动物彼此生活在一起，其方式正如最初获得饥饿的感觉和饮食的愉快无疑是为了诱使动物去吃食。来自社会的愉快情感大概是亲与子爱情的延伸，因为社会本能的发展似乎是由于幼儿同双亲长期逗留在一起所致；这种延伸局部地可归因于习性，但

主要地还应归因于自然选择。就那些在生活中密切联系而获得利益的动物而言，最喜欢群居的个体将会最好地躲避各种危险，而那些最不照顾同伙而独居生活的个体将会较大数量地死亡。亲与子的爱情起源，显然是以社会本能为基础的，我们还不知道它们是经过怎样的步骤而被获得的；但我们可以推论，在很大程度上是通过自然选择。关于最近亲属之间的异常而相反的憎恨感情，几乎肯定也是如此，如工蜂弄死其雄蜂兄弟以及后蜂弄死其后蜂女儿皆是；在这样场合中毁灭其最近亲属的欲望对群体是有利的。双亲之爱，或者代替它的某种感情，在某些极端低等的动物如海星和蜘蛛中也有所发展。在动物的整个类群中间或只有少数成员表现有这种感情，如球螋属或蠼螋即是。

最重要的同情感和爱是有区别的。母亲热爱她的熟睡而老实的婴儿，但简直不能说她在那样时刻是对婴儿同情。人对狗的爱是和同情有区别的，狗对其主人的爱亦复如此。亚当·史密斯以前曾辩说，最近贝恩先生也这样辩说：同情感的基础是建筑在我们强烈保持着以往痛苦或快乐的状态之上的。因此，当看到另一个人饥饿、寒冷、疲劳时，就会唤起我们对这等情况的回忆，“甚至在观念中也要使人痛苦”。这样，我们就被推动着去解脱他人的痛苦，为了我们自己的痛苦感情同时也可得到解脱。我们以相似的方式去分享他人的快乐①。但我无法理解这个观点如何解释下面的事实，即，由被爱的人比被不关心的人所激起的同情，其程度之强烈要大至不可估量。仅仅看到同爱无关的痛苦，就足可以唤起我们鲜明的

① 参阅亚当·史密斯的《关于道德感的理论》(Theory of Moral Sentiments)一书的第1章。再参阅贝恩的《心理学和道德学》，1868年，244页，以及275—282页。贝恩先生说道：“同情乃是间接地使同情者感到愉快的一个源泉”；他通过互易性(reciprocity)来解释这个问题。他又说，“受到恩惠的人或代替他的其他人，当以同情和有力的帮助作为报答以补偿对方所做出的一切牺牲。但是，同情如果严格地是一种本能——看来似乎就是如此，那么它的行使就会给人以直接愉快，其方式正如上述行使差不多每一种其他本能的情形一样。”

回忆和联想。其解释可能在于如下的事实：在所有动物中，同情是专门指向同群的各成员的，所以是指向相识的以及多少相爱的各成员的，而不是指向同一物种的所有个体。这一事实并不比许多动物专门畏惧特殊的动物更令人惊奇。非社会性的物种，如狮和虎，对于自己的幼兽痛苦无疑感到同情，而对于任何其他动物的幼兽并不如此。正如贝恩阐明的，关于人类，在同情能力中大概还可加入自私、经验和模仿；因为我们对他人同情的友好行为，是希望在报答中得到好处所致；而且同情由于习性而大大被加强了。不管这种感情的起源多么复杂，由于对所有那些彼此帮助、相互保卫的动物来说，同情乃是最重要的感情之一，所以它将通过自然选择而被增强；这是因为包含最大数量的最富同情的成员的那些群体将最繁盛，而且会养育最大数量的后代。

然而，在许多场合中不可能决定某些社会本能究竟是通过自然选择获得的，还是其他本能和官能如同情、理性、经验以及模仿倾向的间接结果；或者，它们是否为习性长期连续实行的单纯结果。像设置岗哨向其同群发出危险警告那样的一种如此显著的本能，几乎也不会是任何这等官能的间接结果，所以它一定是被直接获得的。另一方面，某些社会性动物的雄者所遵循的保卫群体的习性，以及协同攻击敌对者或猎物的习性，也许起源于相互同情；但勇气以及在许多场合中的力气，一定是以前获得的，这大概要通过自然选择。

在各种本能和习性中，有些比另外一些要强得多；这就是说，有些比另外一些或者在其实行时会给予更大的快乐，在其受到阻止时会给予更大的痛苦；或者大概同等重要的是，它们通过遗传会更加持久地受到遵循，而不激起任何快乐或痛苦的特殊感情。我们会自觉到，自己有些习性远比另外一些习性难于矫正或改变。因此，可以常常观察到在动物中不同本能之间的以及一种本能和某种习性之间的斗争；例如，当一条狗追逐一只兔而被制止时，它踌

踌不前，再起追逐，或羞愧地回到主人身旁；又如，一条母狗对其狗仔的爱和对其主人的爱之间的斗争——当这母狗鬼鬼祟祟地溜到狗仔那里时，好像没有能够陪伴主人而感到有点羞愧。但是，关于一种本能战胜另一种本能，我所知道的一个最奇妙的事例是，候鸟迁徙的本能胜过了母性的本能。前一种本能之强令人吃惊；到了迁徙季节，被拘禁的鸟就会以胸部撞击鸟笼的铁丝，直到把毛撞光和流血为止。这种本能还致使年幼的鲑鱼跳出它们本可在其中继续生存的淡水之外，这样就无意识地自杀了。每一个人都知道，母性本能是何等之强，它甚至可以导致怯懦的鸟类为了保护幼鸟去面对巨大的危险，虽不免有些踌躇，而且它同自我保存的本能正好背道而驰。尽管如此，候鸟迁徙的本能还是如此强有力，以致燕子、家燕和东亚雨燕到了晚秋季节往往丢弃它们的弱小幼鸟，而进行迁徙，任幼鸟在巢中悲惨地死去。①

我们可以理解，如果一种本能的冲动无论在任何方面都比另外某种本能或相对立的本能更有利于一个物种的话，那么它就会通过自然选择在二者之中成为强者；因为这种本能最强烈发达的诸个体将会较大数量地生存下来。然而，关于候鸟迁徙本能和母性本能的比较，情况是否如此，尚属疑问。在一年的某些季节中迁徙本能整天整日所表现的这种巨大固执性或稳定活动，可能暂时给

① 詹尼斯(L. Jenyns)牧师说，这一事实最初是由杰出的詹纳(Jenner)记载的，见《科学学报》，(*Phil. Transact.*)1824年，此后又为几位观察家、特别是布莱克瓦尔所证实。后面这位细心的观察家连续两年在晚秋检查了36个鸟巢；他发现，12个鸟巢有死去的幼鸟，5个鸟巢有即将孵化的卵，3个鸟巢有接近孵化的卵。有许多鸟还未长大，难作长途飞行，同样也遭到遗弃而落在后边。参阅布莱克瓦尔的《动物学研究》(Researches in zoology)，1834年，108、118页。关于另外的证据，虽无必要，亦可参阅勒罗伊的《科学通信》(*Letters Phil.*)，1802年，217页。关于东亚雨燕(swifts)，参阅高尔得的《大不列颠鸟类导论》(Introduction to the Birds of Great Britain)，1823年，5页。亚当斯(Adams)先生在加拿大观察到相似的情况，见《通俗科学评论》(*Pop. Science Review*)，1873年7月，283页。

予它以重大力量。

人类是一种社会性动物

任何人都会承认人类是一种社会性动物。从人类不喜欢孤独以及要求自己家庭之外的社会生活，我们可以看出这一点。单身监禁是人所受的最严厉惩罚之一。有些作者设想人类原本是营单独家庭生活的；但时至今日，虽然单独家庭、或仅二三家庭相聚，漫游于蛮荒之地，就我所能发现的来说，他们总是同居住在同一地区的其他家庭保持着友好的关系。这等家庭不时集会协商，团结起来共同御敌。居住相邻地区的部落彼此几乎争战不绝，但这不能作为反对未开化人是一种社会性动物的论据；因为社会本能从来不会延伸到同一物种的一切个体。从大多数四手类的相似性来判断，人类的早期类猿祖先很可能同样也是社会性的；不过这对我们并没有多大重要性。虽然像现今生存的人类那样，仅有少数特殊的本能，并且失去了其早期祖先可能有的任何本能，但这并不能作为理由来说明人类为什么不应从远古时代起就对其同伴保持某种程度的本能之爱和同情。我们每一个人一定都会意识到我们确有这种同情感[①]；但我们的意识没有告诉我们，这种感情是否为本能的，就像次级动物那样起源于很久以前，或者，它们是否为我们每一个人在其生命早期所获得的。由于人类是一种社会性动物，几乎可以肯定他将遗传这样一种倾向，即：对他的同伙忠实，并对他的部落领袖服从；因为这等属性是大多数社会性动物所共有的。结果他将具有一定的自制能力。他由于一种遗传的倾向，甘心情愿同其他人协

① 休姆(Hume)说：(《关于道德原理的探讨》An Enquiry Concerning the Principles of Morals，1751年版，132页"似乎必须承认，他人的幸福和悲痛并非是同我们毫不相干的景象，而是看到前者，……将使我们暗暗感到喜悦；而后者的出现……则会在我们的想象上投射一层忧郁的阴影。"

力保卫他的同胞；如果不过多地同其自身利益或其自身强烈欲望相抵触，他将乐于以任何方式对其同胞进行帮助。

最低等的社会性动物给其同群诸成员的帮助，几乎完全受特殊本能支配，而较高等社会性动物所给予的这种帮助则大部分受特殊本能所支配，同时部分地还被互爱和同情所推动，此外还有相当的理性帮助。虽然人类像刚才所说的那样，并没有特殊本能告诉他去如何帮助其同胞，但他仍然有这种冲动，并且由于他有进步的智力，在这方面自然要大大被理性和经验所支配。本能的同情还会使他高度评价同伴们的称赞；因为，正如贝恩先生所明确阐述的[①]，对受表扬的喜爱，对荣誉的强烈感觉，以及还要更加强烈地对蔑视和臭名的恐惧感，乃是"由于同情的作用"。因而人类就要最高度地被其同胞用姿态和语言表达出来的愿望、称赞以及谴责所影响。这样，社会本能一定是当人类还处于很原始状态时就获得的，而且很可能甚至人类的早期类猿祖先就已经获得了社会本能，人类那时的这种本能仍然产生冲动以实行某些最良好的行为；不过人类的行为在较大程度上是由其同胞所表示的愿望和裁判来决定的，不幸的是，常常由他自己的强烈自私欲望来决定。但是，由于爱、同情以及自制通过习性而被加强，而且由于推理的能力日益变得清晰，所以人类能够合理地评价同伴们的评判，他将感到自己必须撇开暂时的快乐或痛苦，被迫遵从一定的行为路线。于是他可能宣告——任何野蛮人或未开化人都不会有这样想法——我是我自己行为的至高无上的裁判者，用康德的话来说，我不愿亲自侵犯人类的尊严。

① 《心理学和道德学》，1868年，254页。

较持久的社会本能征服较不持久的本能

然而，关于按照我们现今观点来看的整个道德观念问题的主要之点，迄今尚未论及。为什么一个人会感到他应该服从某一本能的欲望，而不是服从另一欲望？如果一个人屈服于强烈的自我保存感，而没有冒生命的危险去挽救同伴的生命，为什么他会苦痛地后悔不已？为什么由于饥饿而曾偷窃食物也会使他后悔？

首先，本能的冲动在人类中显然具有不同程度的力量；一个未开化人会冒生命的危险去挽救一个同群成员的生命，而对一个陌生人就完全漠不关心了；一位怯弱的年轻母亲在母性本能的推动下，为她自己的婴儿会毫不踌躇地去冒最大的危险，而对于其同群的人就不会这样做。尽管如此，许多文明人，甚至一个少年，虽然以前未曾为他人冒过生命危险，但还充满了勇气和同情，无视自我保存的本能，立刻投入急流之中去挽救一个溺水的人，即使这是一个素不相识的人。在这种场合中，推动人类这样去做的本能的动机，和上述致使英雄的小美洲猴为了挽救其饲养员而去攻击可怕的大狒狒的那种本能的动机是一样的。上面这等行为似乎是社会本能或母性本能的力量大于任何其他本能或动机的力量的简单结果；因为那是瞬间决定实行的，以致当时没有功夫去考虑或感到快乐和痛苦；但如果受到任何原因的阻止，还会感到苦恼甚至悲痛。另一方面，对于一个胆怯的人来说，他的自我保存的本能可能非常强烈，以致他不能迫使自己去冒任何这种危险，甚至对他自己的小孩恐怕也会如此。

我知道有些人主张上述那些起于冲动的行为不受道德观念的支配，因而不能称为道德。他们把这一名词限于那些战胜相反欲望后而审慎实行的行为，或者那些在某种崇高动机的激励下而审慎

实行的行为。但是，要想划出这种区别的明显界线①，似乎很少可能。就崇高动机来说，曾经记载过许多关于未开化人的事例，他们对人类缺少任何博爱的感情，而且不受任何宗教动机的支配，却宁愿作为俘虏而从容就义②，也不背叛他们的同伙；他们这种行为确可视为道德。就审慎以及战胜相反动机来说，我们可以看到当动物从危险中拯救其后代或同伙时在相反的本能之间所表现的迟疑不决；然而它们的行为虽然是为了其他动物的利益而实行的，却不能称为道德。再者，任何事情只要我们经常去做，最终就会不经过深思熟虑或毫不踌躇地去做；于是这同本能就无法加以区别了；然而肯定没有人会妄称这样一种行为并不是道德。恰恰相反，除非一种行为的完成系出于冲动，没有经过深思熟虑或努力，正如一个人需要有内在品质才能做到的那样，否则我们莫不感到这种行为不能被视作完善的或者是以最高尚方式来完成的。然而，一个人在完成一种行为之前，被迫去克服他的恐惧或缺少同情心，从某方面来看，将比一个不经过努力而由内在倾向引导着去完成一种良好行为的人，将会受到更高的称赞。由于我们无法对在动机与动机之间加以区别，所以我们只好把某一类的一切行为都纳入道德的地位，如果这是由一种有道德的生物所完成的话。所谓有道德的生物乃是这样一种生物，它能对过去的和未来的行为或动机进行比较，而且能赞成哪些或反对哪些。我们没有理由来假定任何次级动物具有这种能力；所以，一条纽芬兰狗拖出一个落水的小孩，一只猴而对危险去营救它的同伙或抚养一只失去母猴的幼猴，我们都不把

① 我在这里涉及的是所谓实质的和形式的道德之间的区别。我高兴地看到赫胥黎教授关于这个问题持有和我同样的观点。莱斯利·斯蒂芬先生说[《自由思想和坦白言论文集》(Essays on Freethinking and Plain Speaking)，1873年，83页]，"在实质的和形式的道德之间形而上学的区别正如其他这等区别那样，是彼此不相干的。"

② 我曾举过这样一个事例，即：三个巴塔戈尼亚地方的印第安人宁愿一个跟着一个地被枪毙，也不泄漏其同伴的作战计划。

这种行为称为道德的。但是，毫无疑问只有人类才能被纳人有道德的生物的地位，在人类的场合中某一类行为，不论是经过同相反动机的斗争后而深思熟虑地完成的，还是出于本能的冲动，或者是由于缓慢获得的习性的效果，都可被称为道德的。

现在回头来讨论一下我们更直接的问题。虽然某些本能比另外一些本能更强有力，而且由此导致了相应行为的发生，但是，要说人类的社会本能(包括喜爱称赞和惧怕谴责)比自我保存、饥饿、色欲、报复等本能具有更大的力量，或者说通过长期的习性获得了更大的力量，还是站不住脚的。那么，为什么人类会对他遵从了某一自然冲动而没有遵从另一自然冲动而感到遗憾甚至使他想排除这种遗憾而不可得?而且，为什么他会进一步感到他应该对他的行为有所遗憾? 关于这一点，人类同次级动物有深刻的差别。不过，我想我们在某种程度上还能清晰地理解这种差别的原因。

人类，由于他的心理官能的活动，无法不进行思考：过去的印象和意象不断地而且清晰地在他头脑中通过。关于那些永久在一块儿生活的动物，其社会本能是永远存在的，而且是持续的。这等动物总是随时发出危险的信号，保卫群体，并且按照它们的习性对其同伴提供援助；它们不论何时对其同伴都感到某种程度的爱和同情，而无须任何特殊的激情或欲望；它们如果长期和其同伴分离就会不愉快，如果和其同伴重聚就会高兴。而我们自己亦复如此。甚至当我们十分孤独的时候，我们还多么常常地想到别人对自己想些什么——想象中的他们对自己的褒贬；所有这一切都来自同情，而同情乃是社会本能的基本要素。连这等本能一点痕迹都没有的人大概是一个反常的怪物。另一方面，满足饥饿的欲望，或者像报复那样的任何激情，在其性质上都是暂时的，所以能够暂时地得到充分满足。完全逼真地唤起像饥饿那样的感觉是不容易的，也许几乎是不可能的；正如常常提到的，任何痛苦的感觉确实都是如此。除非在有危险的情况下，不会感到自我保存的本能；许多懦夫

非面逢仇敌不会感到自己的勇气。占有别人产业的希图也许是可以举出的最固执的一种欲望;即使在这一场合中,实际占有得到满足后的感情一般也比占有的欲望为弱:许多贼,如果不是惯贼,在偷窃既遂之后,也不免对他为什么要偷东西感到惊讶①。

一个人无法阻止过去的印象重新通过他的头脑;这样,他就要把过去的饥饿、报复,牺牲别人以避免危险等印象同几乎永远存在的同情的本能加以比较,而且还要同他对他人所给予的褒贬的早期认识加以比较。这种认识无法从他的头脑中排除,并且由于本能的同情,它还要受到高度的评价。于是在遵从现在的本能或习性时,他将会感到好像畏缩不前,这对所有动物来说,都会引起不满足甚至痛苦。

上述有关燕子的例子虽然具有相反的性质,但它阐明了一个暂时的、但眼下是强烈固执的本能征服了平时凌驾一切之上的另一种本能。到了适当季节,这等鸟似乎终日为迁徙的欲望所迫;它们的习性改变了;它们变得遑遑不安,喧噪而群集于一处,当母鸟育雏时或孵卵时,母性本能大概大于迁徙本能;但是,更为固执的本能获得了胜利,最后,当她看不见群雏的那一刹那,便马上起飞而遗弃了它们。当到达她的长途旅程终点并且迁徙本能停止活动

① 仇恨或敌意似乎也是一种高度持久的情感,也许比可以指出名字的任何其他情感更加持久。嫉妒的解释是,对他人的某种优点或成功感到憎恨,培根极力主张(《论文第九》),"在所有情感中,嫉妒是最缠绕不休而持续的。"狗很容易憎恨生人和生狗,尤其是它们居住靠近而又不属于同一个家族、部落或氏族时更加如此,这种情感似乎是天生的,而且肯定是最持续的一种。它同真正的社会本能似乎相辅而又相反。从我们所听到的未开化人的情况来看,似乎差不多也是这样。倘真如此,如果同一部落的任何成员对任何人有所损害或者成为他的敌人,那么后者把这等感情转而施于前者,只要再跨进一小步就可以了。一个人对敌人加以伤害,不会受到原始良心的谴责,而如果不是为自己报仇的话,那就要受到原始良心的谴责,这并非是不可能的。以德报怨,施爱于敌,乃道德之顶峰,社会本能本身是否曾导致我们及此,实属可疑。在任何这等金科玉律被想到和被遵从之前,这等本能以及同情,应该受到高等的磨练,并且在理性、教育以及对上帝的爱和惧的帮助下而加以扩大。

时，如果她赋有巨大的心理活动力，而无法阻止有关她的幼雏在凄凉的北方死于饥寒交迫之中的意象不断地通过她的头脑，那么她将会感到由悔恨而引起多么强烈的痛苦。

在人类有所行为的当时，无疑他将易于遵从较强的冲动；这种冲动虽然有时会促使他完成最高尚的业绩，但更加普通的是引导他牺牲别人以满足自己的欲望。不过，他的欲望一经得到满足之后，如果过去的和较强的印象受到永恒的社会本能的批判并且还要受到敬重同伴们善良公意的批判，那么内心的惩罚肯定将会来临。这时他将感到悔恨、后悔、遗憾或羞耻；然而羞耻这种感情几乎完全同别人的批判有关。结果他将多少坚决地决定将来不再有这种行为了；这就是良心；因为良心鉴于既往而指导将来。

被我们称为遗憾、羞耻、后悔或悔恨的那些感情，其性质和力量不仅决定于受到侵犯的本能的力量，而且局部地决定于诱惑的力量，往往还要更多地决定于我们同伴们的批判。每个人对别人的称赞重视到怎样程度，决定于其内在的或后天获得的同情感；而且还决定于对其行为的遥远后果的理解能力。另一个要素虽不是必然的，却极重要，即每个人对其所信仰的神或鬼的崇敬或畏惧：在悔恨的场合中尤其如此。有几位评论家持有反对意见，他们认为，有些轻微的遗憾或后悔虽然可以用本章所提出的观点来解释，但这样去解释那种震动灵魂的悔恨感情却是不可能的。但我看不出这种反对意见有多大力量。这些评论家们并没有对他们所谓的悔恨下过什么定义，我以为最合适的定义就是，悔恨乃为占有压倒之势的后悔感。悔恨同后悔的关系恰如狂怒同怒或者极度痛苦同痛苦的关系一样。一种非常强烈而且非常受到普遍称赞的本能，如母爱，如果没有被遵从的话，那么引起这种未被遵从的过去印象一旦有所减弱，就会引起最深刻的悲痛，这一点也不奇怪。甚至一种行为同任何特殊本能并不相反，仅仅由于知道朋友们和地位相等的人们鄙视自己，也足可以招致巨大的悲痛。由于恐惧而拒绝决斗曾

使许多人感到羞耻的极度痛苦，谁还能对此有所怀疑呢？据说，许多印度教徒由于吃了不洁净的食物，其灵魂深处都要激动起来。这里还有另外一个事例，我以为一定可以称为悔恨。兰多尔博士曾为澳大利亚西部的地方行政官，说道①，在他的农庄内有一个土著居民，其众妻之一因病死去之后，亡妻的丈夫说，他将到一个远方部落用矛刺杀一个妇人，以满足对他妻子的义务感。我告诉他说，如果他这样干，我就要把他送去终身监禁。他在农庄又呆了几个月之后，显得异常消瘦，并且抱怨说，他吃睡无心，他亡妻的幽灵总是缠绕着他，因为他没有为她取来一条生命之故。我坚决不为他所动，并且使他确信，如果他这样干，什么也救不了他。尽管如此，这个人还是失踪了一年多，然后意气昂扬地回来了；他的另一个妻子告诉兰多尔博士说，她的丈夫从一个远方部落取来了一个妇人的生命；但是关于他的行为拿不到法律上的证据。可见一个部落所视为神圣的准则如被违反，就会引起极深刻的感情，——而这种感情同社会本能完全无关，除非这种准则是以同群的评判为基础的。全世界许多奇异迷信是怎样起源的，我们还不知道，我们也无法说出最低等的未开化人为什么憎恶某些真正的重大罪恶，如乱伦（然而这并不十分普遍）。甚至可以怀疑，有些部落是否认为乱伦比同姓的、但没有亲属关系的男女结婚更可嫌忌。“澳洲人认为违犯这一法律就是罪恶，他们最憎恶这种罪恶；北美的某些部落也完全如此。无论在上述任何一个地方问道，杀死一个远方部落的妇女和娶一个本族的女子这两件事，哪一件更坏，他们将会给予正和我们相反的答覆”②。因此，我们可以否定某些作者最近坚持的那种信念，即认为对乱伦的憎恶乃是由于我们具有一种特殊的、由上帝植入的良心。

① 《涉及法律的精神错乱》(Insanity in relation to Law)，安大略，美国，1871年，1页。

② 泰勒，《当代评论》(*Contemporary Review*)，1873年，4月，707页。

总之，一个人被教导去相信作为一种赎罪应该自行投案要求审判，可以理解导致他有这样行为的乃是由于他受到了如此强有力的一种思想感情，如悔恨所推动，虽然悔恨有上述那样的起因。

受到良心驱使的人通过长期的习性将获得完全的自制，这样，他的欲望和情欲最终就会不经斗争而直接屈服于他的社会同情心和社会本能，其中也包括他对同伴评判的感觉。依然饥饿的或依然充满仇恨的人将不会想到偷窃食物或实行报复。就像我们以后将看到的那样，自制的习性正如其他习性，可能、甚至很可能是遗传的。这样，通过后天获得的以及也许遗传的习性，人类最终会感到，对他来说最好是遵从他的比较固执的冲动。"应该"这个专横的字似乎仅仅是针对意识到行为准则的存在而言，不论这种意识是如何发生的。以前一定常常热烈地主张，一位有身份的人如果受到侮辱，就应该进行决斗。我们甚至说，向导猎狗应该用头指向猎物，拾物猎狗应该衔回被击中的猎物。如果它们没有这样做，那就是它们没有尽到义务，而且行为失误。

如果导致违犯他人利益的任何欲望或本能仍然出现，而且当在头脑中回忆及此时，其强烈程度同社会本能相等，或者还要超过后者，那么这个人对于曾经遵从这种欲望或本能就不会感到深刻的遗憾；但他会意识到，如果他的行为被他的同伴们知道，就要受到谴责；倘发生这种情形而不感到不安，像这样缺乏同情心的人还是很少。如果他没有这种同情心，如果导致这种坏行为的欲望很强，而且当回忆时也没有被社会本能以及他人的评判所克服，那么他本质上就是一个坏人[①]；剩下来的唯一抑制的动机就是对惩罚的畏惧，以及深信为了自私的利益从长远看与其注重自己的利益

① 普罗斯佩尔·德斯平(Prosper Despine)博士在他的《天赋心理学》(Psychologie Naturelle)(1868年，第1卷243页；第2卷169页)一书中举出有关最恶劣罪犯的许多奇特事例，这些罪犯显然出于完全丧尽天良。

莫如注重他人的利益。

如果一个人的欲望并没有侵犯他的社会本能，这就是说没有侵犯他人的利益，显然他可以问心无愧地满足他的欲望；但是，为了完全不受自责，至少不受忧虑不安的影响，那么避免同胞们的谴责——不论合理与否，对他来说几乎还是必要的。他还一定不会打破他的生活习惯，特别是这等生活习惯合乎情理时，尤其如此；因为，他如果这样做了，肯定要感到不满足。按照他的知识或迷信，可能信仰一个上帝或多神，因此他还一定要避免上帝或多神的摈弃，不过在这种场合中，另外有对神罚的恐惧常常伴随发生。

最初受到重视的仅为严格的社会美德

上述关于道德观念——它告诉我们应该做的是什么——的起源及其性质的观点，以及关于良心——如果我们违背它就要受到谴责——的起源及其性质的观点，同我们看到的人类这种官能的早期不发达状态很相一致。原始人类的美德至少是普遍实行的，所以他们才能联成一体，那些美德至今仍被认为是最重要的。但是，这些美德几乎专门施于同一部落的人，而与此相反行为如果施于其他部落的人则不视为罪恶。如果凶杀、抢劫、叛变等盛行，任何部落都无法团结一致，因而这等罪恶在同一部落的范围内就要"被打上千古臭名的烙印"①；但超出这个范围之外，就不会激起这种思想感情了。北美印第安人如能剥取其他部落一个人的头皮，自己就会感到十分高兴，而且还要受到别人的尊敬；达雅克人②割掉一个

① 参阅一篇富有才华的论文，见《北英评论》(*North British Review*)，1867年，395页。再参阅巴奇霍特(W. Bagehot)先生讨论服从和团结一致对原始人类的重要性的文章，见《双周评论》(*Fortnightly Review*)，1867年，529页；1868年，457页及其他。

② 加里曼丹的一种原始人。——译注

无辜人的头，并把它晾干作为战利品。杀婴以极大规模通行于全世界[①]，并没有受到谴责；杀婴、特别杀女婴曾被认为对部落有好处，至少没有害处。自杀在以往时代里并没有被普遍视为一种罪恶[②]，且由于显示了勇气，反被视为一种光荣的行为；有些半开化民族以及未开化民族至今仍然实行自杀而不受谴责，显然这种行为同部落的其他人并无利害关系。曾经记载，印第安的萨哥人对于他自己抢劫和勒死过往行人没有能够像以前他父亲干的那样多，内心感到遗憾。在原始的文明状态下，抢劫陌生人诚然被视为光荣。

奴隶制度在古代虽然有某些方面的益处[③]，却是一种大罪恶；然而在最近以前并不这样认为，甚至最文明的民族也是如此。由于奴隶一般属于和其主人不相同的种族，情况就尤其是那样了。因为野蛮人不重视妇女的意见，所以普通对待妻子就像对待奴隶一样。大多数未开化人对于陌生人所遭受的痛苦完全漠不关心，甚至以目睹此事为乐。众所周知，北美印第安人的妇女和儿童在对敌人施行严刑拷打时，也从旁相助。有些未开化人以虐待动物作为消遣[④]，这种行为令人发指，但对他们来说，人性还是一种未知的美德。尽管如此，除了家族的感情之外，同一部落诸成员之间的友好行为还是普遍的，尤其在有人患病期间更甚，这种友好行为有时会

① 我所见过的最充分的记载是由格兰得(Gerland)做出的，见他的著作《自然民族的消亡》(Ueber dan Aussterben der Naturvolker)，1868 年；但在后一章我势必还要对杀婴问题进行讨论。

② 关于自杀的很有趣的讨论，参阅莱基(Lecky)的《欧洲道德史》(History of European Morals)，第 1 卷，1869 年，223 页。关于未开化人，温伍德·里德(Winwood Reade)告诉我说，西非的黑人常常自杀。众所周知，自从被西班牙征服之后，在悲惨的南美土著居民中多么盛行自杀。关于新西兰，参阅《"诺瓦拉"航海记》(The Voyage of "Novara")，以及关于阿留申群岛(Aleutian Islands)，参阅乌泽在《论智力》(第 2 卷，136 页)一书中引用的米勒著作。

③ 参阅巴奇霍特的《医学与政治学》(Physics and Politics)，1872 年，72 页。

④ 例如，参阅汉密尔顿(Hamilton)关于卡法尔人(Kaffirs)的记载，见《人类学评论》(*Anthropological Review*)，1870 年，15 页。

扩展到部落之外。芒戈·帕克关于非洲腹地黑人妇女对其友好行为的动人记载，是众所周知的。未开化人彼此高尚地忠诚相待，但对陌生人并不如此，关于这一点可以举出许多事例；普通经验证实了西班牙人的一句格言："万万不可信任印第安人"。无诚实则无忠诚；诚实这一基本美德在同一部落诸成员之间并非罕见；例如，芒戈·帕克曾听到黑人妇女教育她们的孩子们要爱诚实。再者，这是头脑中如此根深蒂固的美德之一，以致未开化人有时甚至不惜重大代价而施此美德于陌生人；但是，向敌人说谎却很少被认为是一种罪过，近代外交史非常明显地展示了这一点。部落一旦有了一个公认的领袖，不服从就会成为一种罪恶，而且，甚至卑鄙的屈服也被视为神圣的美德。

在原始时代，一个人如果缺少勇气就不会有益于或忠实于他的部落，所以这一品质普遍被列入最高的等级；在文明国度里，一个善良而怯懦的人可能远比一个勇敢的人对群体更为有益，但我们还是禁不住本能地尊敬后者，不管懦夫多么乐善好施都一样。另一方面，同他人福利无关的慎重，虽为一种很有益的美德，却从来没有受到高度的重视。如果不能自我牺牲，不能自制以及没有忍耐力，就无法实行为部落福利所必需的那些美德，所以对于这等品质无论何时都高度地而且最公正地给予了评价。美洲未开化人甘受最可怕的酷刑而不发一点呻吟，以证明和增强他的毅力和勇气；我们对他不得不加以称赞，甚至对印第安的法基尔人，由于一种愚蠢的宗教动机把铁钩插入肉中悬空摆动，我们也要加以称赞。

另一种所谓自重的美德，对部落福利的影响虽不明显，但确实存在，未开化人从来不尊重这种美德，而现今却受到文明民族的高度欣赏。未开化人并不谴责最无节制的放纵生活。极度的淫荡生

活以及鸡奸流行之广，已达到使人震惊的程度①。然而，无论一夫多妻或一夫一妻的婚姻一旦普及之后，嫉妒就会导致妇女美德的反覆灌输，这种美德受到尊重后，就倾向于扩大到未婚妇女。而扩大到男性却非常缓慢，我们在今天还可以看到这种情形。贞洁显著地需要自制；所以在文明人的道德史中，自古以来它就受到了尊重。其结果便是，毫无意义的独身生活自古以来就被列为一种美德②。对下流猥亵的憎恶，在我们看来是如此自然，以致被认为是天生的，它对贞洁是一种多么可贵的帮助，这是一种近代的美德，正如斯汤顿爵士③所指出的，它专属于文明生活。这从各个不同民族的古代宗教仪式，从庞贝古都的壁画，以及从许多未开化人的习俗，都可以得到阐明。

于是我们可以知道，未开化人认为，很可能原始人类也认为，行为是好或是坏，显然仅仅看它们对部落福利的影响如何，并不考虑它们对种族以及对部落的个体成员有何影响。这一结论同以下的信念十分符合，即，所谓道德观念原本发生于社会本能，因为二者在最初都专与群体有关。

如果按照我们的标准去衡量，未开化人道德低下的主要原因为：第一，同情仅限于同一部落。第二，其推理能力不足，不能认识许多美德，特别是自重美德同部落一般福利的关系。例如，未开化人无从探知大量罪恶是由缺少节制、贞洁等等所引起的。还有，第三，自制力薄弱；因为这种能力没有通过长期连续的、也许是遗传的习性、更没有通过教育和宗教而被加强。

我之所以对未开化人的不道德④ 进行如上的详细讨论，是因

① 关于这个问题，伦南(Lennan)先生搜集了一些很好的事实，见他的著作《原始婚姻》(Primitive Marriage)，1865年，176页。

② 莱基，《欧洲道德史》，第1卷，1869年，109页。

③ 《出使中国记》(Embassy to China)，第2卷，348页。

④ 参阅卢伯克的《文化的起源》第7章，其中有关于这个问题的充实证据。

为有些作者最近高度估量了他们的道德本性，或者把他们的大部分罪恶归因于仁慈的误用①。这些作者的结论似乎是依据未开化人所具有的那些美德对家族和部落的生存都是有益的、甚至是必需的，——无疑他们确有这等品质，而且往往达到高度水平。

结 语

起先道德派生论学派②的哲学家们假定，道德的基础系建筑在利己之上的；但最近"最大幸福原则"被突出地提出来了。然而，把后一原则作为行为的标准，而不是作为行为的动机，是比较正确的说法。不过，我查阅过一些著作，所有这些作者们，除去少数例外③，皆谓每一种行为一定都有一个特殊的动机，而且这个动机一定都同某种愉快或不愉快相关联。但是，人类的行为似乎常常出于冲击，这就是说，出于本能或长期的习性，却没有感到愉快的任何意识，其方式很可能恰如一只蜜蜂或一只蚁当盲目地遵从其本能时所做的那样。在像火灾那样极端危险的情况下，当一个人毫无片

---

① 例如，莱基的《欧洲道德史》，第1卷。

② 《西敏斯特评论》(*Westminster Review*)，1869年10月，498页，载有一篇富有才华的论文始用这一术语。关于"最大幸福原则"，参阅米尔的《功利主义》(Utilitarianism)，17页。

③ 米尔(Mill)以最明断方式承认(《逻辑体系》，(System of Logic)，第2卷，422页)，行为可以通过习性而完成之，无需预先感到愉快。塞吉威克先生在一篇《论愉快和愿望》的文章(《当代评论》(*Contemporary Review*)，1872年4月，671页)中也说，"总之，有一种学说谓自觉行为的冲动永远指向在我们本身产生令人愉快的感觉；与此相反，我则主张，我们到处都可以在意识中发现不受注重的冲动，这是指向某些令人不愉快的事情的；在许多场合中，这种冲动同自重如此不能和谐共存，以致二者不易在意识中同时存在。"我不能不认为，有一种模糊的感觉以为我们的冲动决非永远来自任何同时发生的或预先感到的愉快；这种模糊的感觉正是接受道德的直觉论而反对功利论或"最大幸福"论的一个主要原因。关于后一理论，行为的标准和动机无疑往往被搞乱了，实际上它们在某种程度上就是混淆不清。

刻踌躇、竭力去救他的同伙时，他简直不能感到什么愉快；而且他更没有时间去考虑如果他不这样干，以后可能会感到不满足。如果此后他回想起自己的行为，他大概会感到有一种冲动的力量存在于他自身之中，而这种力量同追求愉快或幸福大不相同；这似乎就是根深蒂固的社会本能。

在次级动物中，把它们社会本能的发展说成是为了物种的一般幸福，莫如说是为了物种的一般利益更加恰当得多。我们可以给一般利益这个术语下这样一个定义，即：在它们所隶属的外界条件下，把最大数量的个体养育得充满活力和十分健壮，而且使其一切能力均臻完善。由于无论人类的或次级动物的社会本能，都是以差不多一样的步骤发展的，所以在这两种场合中，采用同一个定义，并且以群体的一般利益或福利、而不以一般幸福作为道德的标准，如果行得通，还是适当的；但是，由于政治的伦理学的关系，对这个定义也许需要某种限制。

当一个人冒着生命危险去救一个同伙的生命时，我们说他的这种行为是为了人类的幸福，莫如说是为了人类的利益，似乎是更为正确的。毫无疑问，个人的利益和个人的幸福通常是一致的；一个满足的、幸福的部落将比一个不满足的、不幸福的部落繁荣兴旺。我们已经知道，甚至在人类历史的早期阶段，群体的明确愿望将会自然地在很大程度上影响每一个成员的行为；因为所有成员都希望幸福，所以"最大幸福原则"便成为最重要的第二位的指针和目的了；然而，社会本能以及同情心（它引导我们重视他人的褒贬）则为第一位的冲动和指针。这样，对于把我们本性最高尚的部分建筑在利己原理的基础之上所进行的指责就会被消除；诚然，除非每一种动物当遵从其固有本能时所感到的满足，以及当这种本能受到抑制时所感到的不满足被称为利己，那就另当别论了。

同群诸成员最初由口头、其后由文字表示出来的愿望和意见，或者单独形成我们行为的指针，或者大大加强社会本能；然而，这

等意见不时有直接反对社会本能的倾向。"荣誉律"对后述这一事实提供了很好的例证，这就是由地位相同的人的意见、而非由所有同胞们的意见形成的一项律条。违反这一律条，甚至当知道这种违反是同真实道德严格符合时，也会致使许多人感到比真正犯罪时更大的极度痛苦。我们在下述那样的感觉中可以辨认出同样的影响，即：如果偶然地违反了一种细小的、但是确定的礼节，当我们回忆及此时，即使事隔多年，大多数人还会脸上发烧。从长远观点看，对所有成员来说什么是最好的，群体对此所做的评判一般要受到某种幼稚经验支配；但是，由于愚昧无知以及推理力的薄弱，这种评判陷于错误者并不罕见。因此，同人类的真正利益和幸福完全相反的最奇怪的风俗和迷信在全世界便成为威力无穷的了。在打破其社会等级的印度教徒所感到的恐怖以及许多其他这样的事例中，我们看到了上述这种情形。一个印度教徒被诱惑吃了不洁净的食物后所感到的悔恨同他偷窃后所感到的悔恨有何不同，是难以区别的；不过前者很可能要更剧烈些。

我们不知道，如此众多的荒谬行为准则以及如此众多的荒谬宗教信仰是怎样发生的，我们也不知道，它们在世界各地怎么会如此深入人心；但值得一提是，一种信仰如果在生命早期当脑筋易受影响时受到不断反覆的灌输，那么这种信仰似乎就会获得一种类似本能的性质；一种本能的本质就在于它的被遵从并不依靠理性。我们无法说，为什么某些可称赞的美德，如热爱诚实，在某些部落远比在另外一些部落受到更高的欣赏①；我们也无法说，甚至在文明民族之间也普遍有同样的差别。既然知道许多奇怪的风俗和迷信已经多么稳固地固定下来，那么我们对下面的情况就不必感到

① 华莱士先生的《科学见解》(Scientific Opinion)，1869年9月15日中举出了一些好事例；在他的《对自然选择学说的贡献》(Contributions to the Theory of Natural Selection)(1870年，353页)一书中有更加充分的叙述。

惊奇了，即：受到理性支持的自重美德，虽然在人类早期状态下没有得到重视，但现今在我们看来它是如此自然，以致被认为是天生的。

尽管有许多疑惑根源，我们还是能够一般地而且容易地区别高级的和低级的道德准则。高级道德准则是建筑在社会本能之上的，而且同别人的福利有关。它们受到我们同伙称赞的以理性的支持。有些低级道德准则当含有自我牺牲的意思时，虽然不应称其为低级的，但它们主要同自我有关，而且系由舆论所引起，并由经验和教养使其成熟；因为野蛮部落不这样做。

当人类文明有所进步，并且小部落联合成较大的群体时，最简单的理性将告诉每一个人，他应该把他的社会本能和同情扩大到同一民族的一切成员，虽然在个人方而他们并不相识。这一点一旦达到之后，阻止其同情扩大于所有民族和所有种族的人，就只有一种人为的障碍了。诚然，如果这等人们由于容貌和习惯的巨大差异而被区分开，经验不幸地向我们阐明，在我们把他们视为同胞之前，不知要经过多么悠久的岁月。超越人类范围以外的同情，即对次级动物施以人道，似乎还是最近获得的道德之一。未开化人除了对其玩赏动物外，显然没有这种感觉。古罗马人可恶的人兽格斗表演，阐明了他们对人道所懂得的是何等之少。就我所能看到的来说，潘帕大草原①上的大多数高卓人②还不知道真正的人道概念。这是人类被赋予的最高尚美德之一，它似乎是我们的同情变得愈益亲切而且愈益广施的附产物，直到把同情扩大到一切有知觉的生物。这种美德一旦受到少数人的尊重并实行之，它就会通过教育和榜样传播于青年之间，最终便成为舆论的一部分。

道德修养的可能的最高阶段是，我们认识到应该控制自己的

---

① 南美亚马孙河以南的大草原。——译注

② 西班牙人和印第安人的混血种。——译注

思想，"甚至在内心深处的思想中也不再去想过去使我们感到非常快活的那些罪恶"①。无论什么坏行为，只要为心理所熟悉，就容易实行得多。正如罗马皇帝奥瑞利亚斯说过的："汝之习以为常之思想为何，汝之心理特性亦为何，盖灵魂被思想之色所染也。"②

英国大哲学家斯宾塞最近说明了他对道德观念的观点。他说③，"我相信，通过人类种族一切过去世代所组织起来并且巩固下来的功利经验，已产生了相应的变异，这等变异由于连续的遗传和积累便成为我们道德直觉的一定能力——道德直觉乃是对正确行为和错误行为反应的一定情绪，而这等行为在个人功利经验方面，并没有明显的基础。"美德的倾向或多或少都是遗传的，在我看来，这没有什么不可能的；因为，且不谈许多我们的家养动物将其各种性情和习性传递给后代，我曾听到一些可靠的事例表明，偷窃的欲望和说谎的倾向看来在一些上层家庭中也有所蔓延；因为偷窃在富有阶级中是一种罕见的犯罪，所以我们对同一家庭的两三个成员都有这种倾向，简直就不能用偶然的巧合来加以解释了。如果坏倾向是遗传的，那么好倾向很可能也同样是遗传的。身体状态由于可以影响脑部，所以对道德倾向也会发生重大影响，大多数患有慢性胃病和肝病的人都明白这一点。"道德观念的堕落或毁灭往往是精神错乱的最早症状之一"④，这也阐明了同样的事实；疯狂常常被遗传，乃是众所周知的。除非根据道德倾向的遗传原理，我们就无法理解据信存在于人类各个种族之间的这方面差异。

美德的倾向即使部分地遗传，也会对直接或间接来自社会本

① 坦尼森(Tennyson)，《国王的叙事诗》(Idylls of the King)，244页。

② 《罗马皇帝奥瑞利亚斯·安东尼纳斯的思想》(The Thoughts of the Emperor M. Aurelius Antoninus)，英译本，第2版，1869年，112页。奥瑞利亚斯生于公元121年。

③ 斯宾塞给米尔的一书信，见贝恩先生的《心理学和道德学》，1868年，722页。

④ 莫兹利，《躯体和精神》(Body and Mind)，1870年，60页。

能的第一位冲动给予莫大帮助。只要承认美德倾向是遗传的话，那么似乎很可能是，至少在像贞洁、自我克制、对动物施行人道等那样的场合中，美德倾向通过在同一家族中连续若干代的习性、教育和榜样而最初印记在精神机构中；并且通过具有这等美德而在生存斗争中获得最大成功的个体，而最初印记在精神机构中，不过后者的程度是十分次要的，或者根本没有作用。关于任何这样的遗传，我的主要疑问是，无感觉的风俗、迷信和嗜好，如印度教徒对不洁净食物的恐惧，是否应该按照同一原理而传递下去。我还没有遇到过任何证据可以支持迷信的风俗和无感觉的习性的遗传，虽然实质上这比下述情况的可能性不见得更小，即：动物可以获得对某些食物种类的嗜好的遗传或对某些敌对者的恐惧的遗传。

总之，人类无疑就像次级动物那样，为了群体利益而获得的社会本能，从最初起就会使他有某种帮助同伴的愿望，某种同情感；以及强迫他重视同伴们的褒贬。这等冲动在很早时期就作为他的原始的是非准则。但是，由于人类智力逐渐进步，并且能够探知其行为的比较遥远的后果；由于他获得了充分的知识以抵制有害的风俗和迷信；由于他不仅重视其同胞们的利益，而且日益重视其幸福；由于有遵从有益的经验、教育和榜样的习性，他的同情变得愈益亲切而且广施于人，以至扩大到一切种族的人、低能儿、残疾人以及社会上其他无用的人，最终扩大到次级动物——所以他的道德标准步步升高。派生学派的道德学者们以及直观学派的学者们都承认，自从人类早期历史以来道德标准就升高了①。

由于不时可以看到在次级动物的各种本能之间进行着斗争，所以在人类的社会本能以及由此派生出来的美德和他的低级的、

① 位作者在《北英评论》(1869年7月，531页)中很好地做出了一个合理判断，表示强烈支持这一结论。列基先生(《道德史》，第1卷，143页)的看法似乎与此吻合。

虽然暂时比较强烈的冲动和欲望之间也应该有一种斗争，就不足为奇了。正如高尔顿先生[①]所说的，人类是在相当晚的时期内才脱离野蛮状态的，所以上述就更加不足为奇了。当屈服于某种诱惑之后，我们就要感到不满足、羞愧、后悔或悔恨，这同其他强有力的本能或欲望没有得到满足或受到压抑时所引起的那种感觉是相似的。我们把对过去受到诱惑的薄弱印象同永久存在的社会本能进行比较，或者同幼年时期获得的而在一生中增强的、直到差不多像本能那样强烈的习性进行比较。如果在我们面前依然有这种诱惑，而我们不为所动，那是因为社会本能或某种风俗习惯当时占有优势，要不就是因为我们已经懂得社会本能或某种风俗习惯今后如与对受到诱惑的薄弱印象相比较，前者似乎更加强烈，而且违背它，就要招来痛苦。展望未来诸代，没有理由惧怕社会本能将会变弱，我们可以预料美德的习性将会变强，也许通过遗传而固定下来。在这种场合中，在我们高级冲动和低级冲动之间所进行的斗争将比较不剧烈，而且美德终将取胜。

以上两章提要

毫无疑问，最低等的人和最高等动物之间的心理差异是巨大的。一个类人猿如果能够不带偏见地观察他自己的情形，他大概会承认，虽然他能做出狡诈的计划去抢掠一个田园，虽然他能用石头去打仗或者砸开坚果，但把石头制成一种工具的思想却完全在其范围之外。他大概会承认，关于进行一系列形而上学的推理，或者解答一个数学题，或者对上帝的思考，或者对庄严的自然景色的赞

① 参阅他的名著《遗传的天才》(Hereditary Genius)，1869年，349页。阿盖尔(Argyll)公爵(《原始人类》，1869年，188页)关于人类本性在是非之间的斗争有过一些好议论。

美，他所能做的就更少了。然而，有些猿类很可能宣称，他们能够赞美而且的确赞美过其对象在结婚期间所表现的皮毛颜色之美。他们大概还会承认，虽然他们能用叫声使其他猿理解其某些知觉和比较简单的需要，但用一定声音去表达一定意思的概念，决不会通过他们的头脑。他们大概要坚决主张，他们乐于以许多方式去帮助同群的伙伴，为了伙伴不惜冒生命的危险，并且对孤儿给予照顾；但他们将被迫承认，对所有生物的无私之爱——人类的最高尚品质，却完全超出其理解力之外。

尽管人类和高等动物之间的心理差异是巨大的，然而这种差异只是程度上的，并非种类上的。我们已经看到，人类所自夸的感觉和直觉，各种情感和心理能力，如爱、记忆、注意、好奇、模仿、推理等等，在次级动物中都处于一种萌芽状态，有时甚至处于一种十分发达的状态。这等情感和心理能力像我们在家狗和狼或豺的比较中所看到的那样，也能通过遗传而有某种进步。如果能够证明一般概念的形成，自我意识等那样的某些高等心理能力绝对为人类所特有（这似乎是极其可疑的），那么，这等属性很可能仅仅是其他高度进步的智能的附带结果，而智能的高度进步主要是一种完善语言连续使用的结果。新生儿到什么年龄才会有抽象的能力、或自我意识并且可以考虑到其本身的存在？我们还无法做出回答；关于上升到怎样的生物等级才能有上述心理能力，我们也同样地无法做出回答。语言的半人为、半本能的状况仍然带有其逐渐进化的标志。那种对上帝的崇高信仰，并非人类普遍具有的；而对精灵作用的信仰都是其他心理能力所自然产生的结果。道德观念在人类和次级动物之间，也许提供了一个最好的和最高的界限；但是关于这个问题，我不必多说什么，因为晚近我曾力图阐明社会本能——人类道德构成的首要原则[①]——在活跃的智力以及习性的效果帮

① 《奥瑞利亚斯的思想》，139 页。

助下，自然会引出一项金科玉律："汝等所欲人之施于己者，即应以此施于人"；而这正是建筑在道德的基础之上的。

在下一章我将略述人类的几种心理官能和道德官能逐渐进化所经过的可能步骤的方式。这种进化至少是可能的，无可否认的，因为我们日常在每一个婴儿身上都可以看到这等官能的发展；而且我们还可以从比次级动物的心理官能还要低的完全白痴，到一个像牛顿那样的人追踪出一系列完整的心理等级。

第 五 章

智能和道德官能在原始时代和文明时代的发展

智力通过自然选择的进步——模仿的重要性——社会的官能和道德的官能——它们的发展限于同一部落的范围之内——自然选择对文明民族的影响——关于文明民族一度曾是野蛮民族的证据。

本章所讨论的这个问题是极其高度有趣的，但我处理的方法并不完善，并且是片断的。华莱士先生在上文曾经提及的那篇可称赞的论著① 中争辩说，人类自从局部地获得那些智能和道德官能以区别于次级动物之后，他就很少可能通过自然选择或其他方法发生身体变异。这是因为人类能够通过他的心理官能"使一个不变的身体同正在变化着的世界保持和谐一致。"人类有巨大能力使其习性适应于新的生活条件。他发明武器、工具以及获得食物和保卫自己的各种策略。当他迁徙到比较寒冷的气候中时，他穿衣裳，建棚屋，而且生火；他用火烧煮不易消化的食物。他用各种方式对他的同胞们进行帮助，并且预测未来的事变，甚至在远古时代，他就实行了某种分工。

另一方面，次级动物必须在身体构造上发生变异，才能在大大变化了的生活条件下生存下去。它们必须变得更加强壮，或者获得更加有效的爪牙，以抵御新的敌对者；要不它们就必须变小，以避

① 《人类学评论》，1864 年，5 月，158 页。

免被发觉和危险。当它们迁徙到比较寒冷的气候中时，它们的皮毛必须变厚，或者体质发生改变。它们如果不能这样变异，就要灭亡。

然而，正如华莱士先生所正确坚持的，关于人类的智能和道德官能，情况就大不相同了。这等官能是易于变异的；我们有各种理由可以相信，这等变异有遗传的倾向。因此，它们如果以往对原始人类及其类猿的祖先有高度重要性的话，那么它们大概就要通过自然选择而有所完善或进步。智能的高度重要性，不容置疑，因为人类在世界上之所以能够取得优越地位主要应归功于他的智能。我们知道，在最原始状态的社会中，那些最精明的、发明和使用最优良的武器和陷阱的并且能够最好地保卫自己的个人，将养育最大数量的后代。部落如果包含最大数量的赋有这等智能的人，这些部落的人数就要增加，而且会取代其他部落。人口数量首先决定于生活资料，而生活资料则部分地决定于一个地方的自然性质，但在非常大的程度上决定于那里所实行的技术。当一个部落增大了而且胜利了的时候，它往往通过同化其他部落而进一步增大①。一个部落的人们的身材和体力对于它的成功同样也有某种重要性，而身材和体力则部分地决定于他们所能得到的食物的性质和数量。在欧洲，青铜时代的人被一个更加强有力的种族所代替，根据他们的刀柄来判断，后者的双手是比较大的②；不过他们的成功，更多地还是由于他们在技术方面的优越性。

所有我们知道的有关未开化人的情况，或者从他们的传说和古代碑石——其历史已完全为现代人所遗忘——推论出来的情况，都阐明了自极其遥远的古代以来成功的部落就曾取代其他部

① 正如亨利·梅因(Henry Maine)爵士所说的，被吸收进另一个部落中的诸成员或部落经过一段时间之后，便设想他们是同一祖先的共同后裔，见《古代法律》(Ancient Law)，1861年，131页。

② 莫洛特(Morlot)，《自然科学普及协会》(*Soc. Vaud. Sc. Nat.*)，1860年，294页。

落。在整个地球上的文明地方，在美洲的辽阔平原上，并且在太平洋的孤岛上，都曾发现过绝灭的或被遗忘的部落废墟。今天文明民族到处取代野蛮民族，除非那里的气候设置了致命的障碍，他们的成功主要是，纵使不完全是，通过他们的技术获得的，而技术则是智能的产物。因此高度可能的是，人类的智能主要是通过自然选择而逐渐达到完善的；这一结论就可以充分满足我们的意图了。当然，从次级动物的智能状态到人类的智能状态追踪出各个独立智能的发展无疑是有趣味的，但我的能力和知识都不容我做这样的尝试。

值得注意的是，一旦人类的祖先成为社会性的（这很可能发生于很早的时期），模仿、理性以及经验的原则就会在某种程度上增大并大大改变其智力，现今我们还可以在次级动物中看到这等智力的一丝痕迹。猿类像最低等的未开化人那样，很喜欢模仿；以前提到的一个简单事实表明，经过一段时间后，在同一地方用同一种类的陷阱就不能捉住任何动物，这阐明了动物会从经验中得到教训，而且可以模仿其他动物的谨慎。且说，如果在一个部落中，有某一个人比其他人更精明，发明一种捕捉动物的新圈套或一种新武器或其他攻守工具，那么，最明显的自身利益就会鼓舞其他成员去模仿他，而无需很大推理力的帮助；而所有成员都会因此受益。各种新技术的经常实践一定也在某种微小程度上可以使智力加强。如果新发明是一项重要的发明，这个部落的人口数量就会增加，广为散布，并取代其他部落。一个部落的人口如果因此而愈益增多，那么降生另外优秀的和富有发明才能的人，始终有更多的机会。如果这样的人留下来的孩子们继承了其心理上的优越性，那么降生越发机灵的成员的机会，大概还要多些，而在一个很小的部落中要多些。甚至他们没有留下孩子，部落依然包含有其血缘关系的亲

属；农业学者们现已查明①，当一头动物被屠宰后，如果发现它是有价值的，那么用这头动物的家系进行保存和繁育就可以获得我们所需要的性状。

现在转来谈谈社会的官能力和道德的官能。原始人类或人类的类猿祖先要成为社会性的，就必须获得那些迫使其他动物进行合群生活的同样本能情感；而且毫无疑问，他们显示了同样的一般倾向。当他们离开他们的伙伴时就会感到心神不安，他们对伙伴们大概会感到某种程度的爱；他们在遇到危险时将彼此发出警告，而且在进攻或防御中彼此进行帮助。所有这一切都意味着某种程度的同情、忠诚和勇气。这等社会属性对次级动物的高度重要性已是无可争辩的了，毫无疑问，人类祖先也是以相似的方式，即在遗传的习性帮助下通过自然选择获得这等属性的。当生活在同一地方的两个原始人类的部落进行竞争时，如果（其他条件相等）某一个部落包含有大量勇敢的、富有同情心的并且忠实的成员，他们时刻准备彼此发出危险警告，相互帮助，相互防卫，那么这个部落就要获得较大的成功而征服其他部落。让我们记住，在未开化人的永无休止的战争中，忠诚和勇气是多么重要。受过训练的军人之所以优于没有受过训练的乌合之众，主要在于每个人对其同伙所感到的信赖。正如巴戈霍特② 所很好阐明的，服从具有最高的价值，因为任何形式的政府都比没有政府好。自私的和好争论的人们不会团结，而没有团结，什么事也做不成。一个部落如果富有上述那些属性，就会广为分布，战胜其他部落；但是，根据过去的历史来判断，经过一定的时间，这个部落又会被另一个秉赋更高的部落所征服。

① 我在《动物和植物在家养下的变异》（第2卷，196页）一书中举出过这方面的事例。

② 他以《物理学与政治学》（Physics and Politics）为题，发表了一系列卓越的论文，见《双周评论》，1867年11月；1868年4月1日；1869年7月1日；以后印成单行本。

这样，社会的和道德的属性就倾向于徐徐进步，而波及于全世界。

但可以这样问：大量成员在同一部落的范围内最初怎样赋有这等社会的属性和道德的属性呢？美德的标准又是怎样提高的呢？比较富有同情心的和仁慈的双亲所生育的后代，或者对其伙伴比较忠诚的双亲所生育的后代，其数量是否会比同一部落的自私而奸诈的双亲所生育的后代为多，是极其可疑的。一个人宁愿牺牲自己的生命，就像许多未开化人所做的那样，也不背叛他的伙伴，他大概常常不会留下后代以继承其高尚本性的。最勇敢的人们在战争中永远甘心情愿奔向前方，慷慨地为他人献出自己的生命；这样的人平均要比其他人死的多。因此，赋有这等美德的人们的数量或他们的美德标准不能通过自然选择，即最适者生存而被提高，似乎是很可能的；因为我们在这里所谈的并非是一部落战胜另一部落的问题。

导致赋有这等美德的人们在同一部落内增加其数量的情况虽然过于复杂，而无法清楚地把它探究到底，但我们还能够追踪出某些可能的步骤。首先，当部落成员的推理力和预见力有所进步时，每一个人很快就会懂得，如果他帮助同伙，通常也会得到作为回报的帮助。从这个低等动机出发他大概可以获得帮助其同伙的习性；行使仁慈行为的习性肯定要加强同情感，而对仁慈行为的最初冲动则是同情感给予的。加之，在许多世代中被遵从的习性很可能有遗传的倾向。

但是对社会美德发展的另一个更加强有力的刺激则是由我们同伙的褒贬所提供的。正如我们已经看到的，我们经常对他人加以褒或贬，主要是由于同情本能，如果这是施于我们自己，我们当然爱赞扬而怕谴责；这种本能无疑像所有其他社会本能那样，最初也是通过自然选择而获得的。在多么早的一个时期，人类祖先在其发展进程中变得能够感觉到其同伙的赞扬和谴责，并被它们所激励，我们当然无法说出。不过，甚至狗似乎也懂得鼓励、赞扬和谴责。最

原始的未开化人也有光荣感，如他们保存那些英勇获得的战利品，他们有过分自夸的习性，他们甚至极端注意其个人容貌和装饰，这就明确地阐明了上述感觉，因为，除非他们重视其伙伴们的意见，否则这等习性就没有什么意义了。

如果违反他们的某些次要准则，他们肯定也要感到羞愧，而且显然要感到悔恨，例如，那个澳洲土人由于没有能够及时谋杀另一个妇女以安慰其亡妻之灵而日益憔悴和心神不安，就是一个说明。我虽然没有遇到过任何其他见于记载的事例，但下述事例足以说明一个未开化人宁愿牺牲自己的生命而不背叛他的部落，宁愿坐牢也不违反他的誓言①，像这样的人当没有完成他视为神圣的义务时，而不在灵魂深处感到悔恨，简直是令人不可相信的。

因此我们可以断言，在很遥远的古代，原始人类已经受到了其同伴赞扬和谴责的影响。显然，同一部落的成员对那些在他们看来具有普遍利益的行为将会表示赞成，而对那些看来是有害的行为则会予以谴责。为他人谋利益——汝如何施于人，人亦将如何施于汝——乃是道德的基础。因此，关于原始时代中爱赞扬、怕谴责的重要性，我们简直无法再予以夸大了。一个人如果为了他人的利益而牺牲自己的生命，并非被任何深刻的本能情感所推动，而是被一种荣誉感所激起，那么他就会以他的榜样唤起其他人要求荣誉的愿望，而且还会以实行这种行为来加强对其称赞的高尚情感。这样，他给部落带来的好处远比他留下一些倾向于继承其自己那样高尚品格的后代还要多得多。

人类的经验和理性增长了，就可以觉察出其行为的更加遥远的后果；而自重的美德，如自我克制、贞洁等，即将受到高度的尊重，甚至被视为神圣的，可是这等美德，像我们以前看到的那样，在

① 华莱士先生在《对自然选择学说的贡献》（1870年，359页）一书中举出过有关事例。

早期却完全不受重视。然而，我没有必要再重复我在第四章中关于这个问题的叙述。我们的道德观念或良心终于成为一种高度复杂的思想感情——它起源于社会本能，大大被我们同胞们的称赞所指导，还受到理性和自我利益而且晚近又受到深厚的宗教情感的支配，更被教育和习性所巩固。

一定不要忘记，对任何人及其子孙胜过同部落的其他人来说，道德的高标准虽然仅有很少一点利益，或者根本没有利益，但秉赋优良的人在数量上的增加以及道德标准的进步，对某一个部落胜过另一个部落来说，肯定有巨大的利益。一个部落如果包含有许多这样的成员：他们由于高度具有爱国精神，忠诚、服从、勇敢以及同情而永远彼此相助，并为公共利益不惜牺牲自己，那么这个部落就会战胜大多数其他部落；这大概就是自然选择。某些部落取代了其他部落，遍及全世界，无论何时都是如此；因为道德是他们成功的一个重要因素，所以道德标准和秉赋优良的人们的数量就会有增加的倾向。

为什么某一个特殊的部落，而不是另一个部落获得成功并且在文化等级上有所提高呢，对此很难形成任何判断。许多未开化人现今所处的状态同几世纪前他们最初被发现时的状态没有两样。正如巴戈霍特先生所说的，我们容易把人类社会的进步视为正常之事；但历史反驳了这一点。古代人甚至没有这种进步观念，东方一些民族迄今还是如此。按照另一位大权威亨利·梅因爵士[①]的说法，“人类的大部分对其文明制度的改进从来没有显示过一点愿望。”进步似乎决定于许多同时发生的有利条件，不过这太复杂了，以致无法查明其究竟。不过常常这样说，凉爽的气候可以导致勤奋和许多技术的发生，所以这曾是高度有利的。爱斯基摩人为艰难的

① 《古代法律》，1861年，22页。关于巴戈霍特先生的叙述，见《双周评论》，1868年4月1日，452页。

需要所迫，虽成功地完成了许多精巧的发明，但他们的气候太严酷了，以致不能继续进步。游牧生活的习性，无论是在辽阔的平原上，还是穿过热带的密林，或是沿着海岸，都是高度有害的。当我对火地的野蛮居民进行观察时，给我留下深刻印象的是，拥有某种财产，一个固定的住所，许多家庭在一个首领下的联合，都是文明所不可缺少的必要条件。这等习性几乎需要土地耕作；正如我在别处所阐明的[1]，耕作的第一步很可能是这样一种偶然事件的结果，即一颗果树的种子偶然落在垃圾堆上，然后产生了一个异常优良的变种。然而未开化人最初如何向着文明进步的问题迄今还是非常难以解决的。

自然选择对文明民族的影响

迄今为止，我仅考虑了人类从半人类状态进步到近代未开化人状态。关于自然选择对文明民族的作用还值得再谈一谈。格雷格先生[2] 对这个问题进行了富有才华的讨论，以前华莱士先生和高尔顿[3]先生也讨论过这个问题。我的论述均来自这三位作者。未开化人身心双方只要衰弱，很快就会被淘汰；凡生存者普遍都显示了精力充沛的健壮状态。另一方面，我们文明人竭尽全力以抑制这种淘汰作用；我们建造救济院来收容低能儿、残疾人以及病人；我

① 《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，309页。

② 《弗雷泽杂志》(Fraser's Magazine)，1868年9月，353页。这篇文章似乎打动了许多人，由此引出两篇卓越的论文和一篇答辩，见《旁观者》，1868年10月3日及17日。在《科学季刊》(*Q. Journal of Science*，186年，152页)；劳森·泰特(Lawson Tait)在《都伯林医学季刊》(*Dublin Q. Journal of Medical Science*，1869年2月)；兰克斯特先生在《长寿的比较》(Comparative Longevity，1870年，128页)均对此进行过讨论。《澳大利亚西亚人》(Australasian，1867年7月13日)也出现过相似观点。我曾借用过其中几位作者的观念。

③ 关于华莱士先生，参阅上面引用的《人类学评论》；关于高尔顿先生，参阅《麦克米伦杂志》，1865年8月，以及他的巨著《遗传的天才》，1870年。

们制定济贫法令；我们的医务人员以其医术尽最大努力去挽救每一个人的生命直到最后一刻。我们有理由相信，种痘保存了成千上万人的生命，而以前由于体质虚弱死于天花者真是成千上万。这样，文明社会的衰弱成员也可繁殖其种类。凡是注意过家养动物繁育的人不会怀疑这对人类种族一定是高度有害的。缺少注意或管理错误导致家养族退化之迅速，是惊人的；除非在人类本身的场合中，谁也不会愚蠢到允许他的最坏的动物去繁育。

我们感到被迫给予不能自助的人们以帮助，乃是来自同情本能的附带结果，同情本能最初是作为社会本能的一部分而获得的，但如以上所指出的，其后却变得愈益亲切而愈推愈广。即使在坚强的理性迫使下，如果我们本性的最高尚部分没有堕落，我们也无法抑制我们的同情。外科医生当施行手术时可能无动于衷，因为他知道他所做的是为了病人好；但是，如果我们故意忽视弱者和不能自助的人，这只能是为了毫无把握的利益，而给现在带来的弊害却是无穷的。因此，我们必须承担弱者生存并繁殖其种类的毫无疑义的恶劣后果；但是，似乎至少有一种抑制作用在稳定地进行着，即：社会的衰弱成员和低劣成员不会像强健成员那样自由地结婚；如果身体或心理衰弱的人放弃结婚，这种抑制作用还能大大地增强，虽然这只是可望而不可求的事。

在保持一支大规模常备军的每一个国家里，最优秀的青年都要被招募或被征集。这样，在战争期间就有早死之虞，而且常常被诱入腐化堕落之途，在青春时代不能结婚。另一方面，体质不良的比较矮小而衰弱的人们反而留在家中，有机会结婚并繁殖和他们一样的人①。

人积聚财产，并把它传给孩子，因此富家子弟在成功的竞争

① 菲克(H. Fick)教授关于这个问题以及其他各点做过良好叙述，见《自然科学对权力的影响》(Einfluss der Naturwissenschaft auf das Recht)，1872年。

中，就比贫家子弟占有优势，而这同身体和智力的优越性却无关。另一方面，短寿的父母，其健康和精力平均都差，他们的孩子却比另外的孩子继承财产较早，而且结婚很可能较早，于是留下的遗传其低劣体质的后代数量也较多。但是财产继承本身远非一种坏事；因为没有资本的积累，技术就不能进步；文明种族主要是通过技术的力量扩大了而且今天到处扩大着它们的范围，以取代比较低劣的种族。财富的适度积累并不妨碍自然选择的进程。当一个穷人有了中等财产的时候，他的孩子们就会进入竞争相当剧烈的商业或其他职业，所以身体和心理都健壮的人可得到最大的成功。有一批受到良好教育的人，不必为每日的面包去劳动，是非常重要的，对其重要程度给予怎样估量也不会过份；因为所有高等智力工作都是由他们进行的，面所有种类的物质进步主要都是决定于这种工作，更不要不谈其更高级的利益了。无疑地当财富过多时，就倾向于把人们变成无用的寄生虫；这里就会发生某种程度的淘汰，因为我们天天看到那些愚蠢的或生活放荡的富人把财产挥霍精光。

长子财产继承权是一种更加直接的弊害，虽然它以前对形成一个统治阶级可能有巨大好处，因为任何政府都比没有政府好。大多数长子虽然身体或心理可能都衰弱，却可以结婚，而幼子即使其身体或心理都优越，一般也不能结婚。况且继承遗产的长子即使无能，也不会把财产挥霍精光。但这里和别处一样，文明生活的亲属关系是如此复杂，以致有某种补偿的抑制作用介入其中。富人通过长子继承便可以逐代选娶比较美丽而媚人的妇女，而这等妇女一般必定是身体健康和心理灵敏的。连续保存同一血统而不经过任何选择所应有的恶劣后果，为贵族永远希图增加其财富和权力所抑制；他们是以娶女继承人来实现这一愿望的。如高尔顿先生所阐明的①，只生单性小孩的父母的女儿，其本身有不生育的倾向；这

① 《遗传的天才》，1870年，132—140页。

样，贵族家庭的直系就要经常被切断，而他们的财富流入旁支；不幸的是，旁支并不是以任何种类的优越性来决定的。

这样，虽然文明在许多方面对自然选择的作用有所抑制，但自然选择显然还是偏袒那些靠着良好食物和没有遇到困苦而身体发达较好的人。从下述情况可以推论这一点，即：在任何地方都可以发现文明人的身体比未开化人的身体强壮[①]。他们的耐力似乎也相等，这在许多次探险考察中已得到了证明。甚至富人的穷奢极欲也没有多大害处；因为英国贵族男女在一切年龄范围内的估计寿命比低等阶级的健壮英国人的寿命短不了多少[②]。

我们现在来看看智能。在社会的每一个阶级中，如果把其成员分为相等的两群，一群的成员智能优越，一群的成员智能低劣，几乎无可怀疑的是，前者在所有职业中都能获得较大的成功，并且生育较大数量的孩子。即使在最低等的阶层中，有技艺和有才智的人一定也占有某种优势；但许多行业已经实行很细的分工，这一优势并不很大。因此，在文明民族中无论智能的数量或标准都有增加的倾向。但是，我不愿断言这种倾向不会在其他方面受到抵消而有余，如挥霍乱用和不顾将来所起的抵消作用即是；即使如此，有才智的人还会占有某种上风。

上述那样的观点常常遭到反对，即：历来最卓越的人士都没有留下遗传其伟大才智的后代。高尔顿先生说道[③]："我遗憾，我不能解决一个简单的问题：具有非凡天才的男人或女人是否不生育，并且不生育到怎样程度。然而，我曾阐明卓越的人士决非不生育。"伟大的制定法典者、仁慈的宗教奠基者、伟大的哲学家和科学发明家

① 卡特勒法热（Quatrefages），《科学报告评论》（*Revuo des Cours Scientifiques*），1867—1868 年，659 页。

② 参阅兰克斯特（Lankester）先生的《长寿的比较》一书中根据权威材料编制的表格第五栏和第六栏。

③ 《遗传的天才》，1870 年，330 页。

以他们的工作对人类进步所给予的帮助，其程度远比留下为数众多的后代要高得多。就身体构造来说，秉赋稍好的个体的被选择以及秉赋稍差的个体的被淘汰，并不是强烈显著而罕见的畸形的被保存，就会导致一个物种的进步①。关于智能，也是如此；因为在每一个社会阶层中，才智多少高些的人就比才智差些的人能够获得较大的成功，因而在其他方面如果没有受到抑制就可增加其数量。在任何民族中，当智力的标准以及智力优越的人的数量提高了的时候，正如高尔顿先生所阐明的，根据平均差的法则我们可以预料，非凡的天才将比以前似乎多少要更加常常出现。

关于道德属性，对于最恶劣性情的淘汰一直在进行着，即使在最文明的民族中也是如此。犯罪者被处死或长期监禁，所以他们不能自由地传递其恶劣属性。忧郁病患者和精神病患者受到隔离或自杀。凶暴的人和好争吵的人难免流血的结局。不安静的人不会从事任何固定的职业——这种野蛮状态的遗风是文明的最大障碍② ——而他们迁移到新殖民地，却证明是有用的拓荒者。酗酒是高度有害的，例如，酗酒者从 30 岁算起，其估计寿命仅为 13.8 年；而英国农工从同一年龄算起，其估计寿命则为 40.59 年③。荒淫的女人生孩子很少，荒淫的男人则很少结婚；二者都因此得病。在家养动物的繁育中，淘汰那些有任何低劣性质的个体，即使为数不多，在走向成功方面也决不是一个不重要的因素。关于那些通过返祖有重现倾向的有害性状尤其如此，如绵羊的重现黑色即是；关于人类，某些最恶劣的性情，没有任何可指出的原因，间或出现于

① 《物种起源》(第 5 版，1869 年)，104 页。

② 《遗传的天才》，1870 年，347 页。

③ 兰克斯特，《长寿的比较》，1870 年，115 页。关于酗酒者的统计数字，采自尼逊(Neison)的《生命统计》(Vital Statistics)。关于荒淫生活，参阅法尔博士的《结婚生活对死亡率的影响》(Influence of Marriage on Mortality)，曾在"社会科学全国促进会"(*Nat. Assoc. for the Promotion of Social Science*)宣读，1858 年。

一些家族中，这也许是归返一种野蛮状态，而这等野蛮状态正是在我们很多世代中没有被消除掉的。不错，用常用语来说，这种观点似乎承认了那些人就是家族中的黑色绵羊。

关于文明民族，就道德的先进标准以及优秀人士的数量增加而言，自然选择所起的作用显然是不大的；虽然说基本的社会本能最初是通过自然选择而获得的。但是，当我讨论较低等种族时，对于导致道德进步的一些原因已经做了足够的叙述，这些原因就是：我们同胞所给予的称赞——我们的同情通过习性得到加强——榜样和模仿——理性——经验，甚至自利——幼年时代的教育以及宗教感情。

格雷格先生和高尔顿先生①曾强烈主张，在文明国家中，对于优秀阶级人士数量的增加有一个重要的障碍，那就是，很贫穷的人和不顾一切而乱来的人往往因恶行而堕落，他们几乎都是早婚，而谨慎的、俭朴的人一般在其他方面也是有道德的，他们结婚都晚，以能够维持自己和孩子们的舒适生活。早婚的人在一定时期内不仅产生的世代数较多，而且如邓肯②博士所阐明的，他们生的孩子也较多。再者，母亲在壮年时期生的孩子比在其他时期生的孩子要重些和大些，所以很可能精力也充沛些。这样，社会上那些不顾一切乱来的、堕落的而且往往是邪恶的人比节俭的而且一般是有道德的人，其增加速度要快些。或者，像格雷格先生所说的那种情形："满不在乎的、肮脏的、不求上进的爱尔兰人增殖得像兔子那样快；

① 《弗雷泽杂志》，1868 年 9 月，353 页。《麦克米伦杂志》，(*Macmillan's Magazine*)，1865 年 8 月，318 页。法勒(Farrar)牧师持有不同的观点(《弗雷泽杂志》，1870 年 8 月)。

② 《关于妇女生育性的规律》(On the Laws of the Fertility of Women)，见《皇家学会会刊》(*Transac. Royal Soc.*)，爱丁堡，第 24 卷，287 页；现以单行本出版，书名为《生殖力、生育性及不育性》(Fecundity, Fertility and Sterility)，1871 年。再参阅高尔顿先生的《遗传的天才》，352—357 页，有对上述效果的观察材料。

俭朴的、有远见的、自尊的、有雄心壮志的苏格兰人，其道德是严格的，其信仰是高尚的，其智力是精明的而且是训练有素的，却在斗争和独身生活之中度过其风华正茂的岁月，他们结婚晚，留下的子女很少。设有一地，最初居住着1000个撒克逊人①和1000个凯尔特人②——经过12代以后，人口的六分之五将为凯尔特人，而六分之五的产业、权力以及才智则属于存留下来的六分之一撒克逊人。在永恒的'生存斗争中，低劣的和天赋较差的种族曾占有优势——他们占有优势并不是凭借其优良品质，而是凭借其缺点'。"

然而对于这种向下的倾向，则有某些抑制之道。我们已经看到，酗酒者的死亡率高，过度荒淫者留下的后代很少。最贫穷的阶级涌入城镇，斯塔克博士根据苏格兰的10年统计③，证明了城镇的死亡率在所有年龄中都比农村的为高，"在生活的最初5年期间，城镇的死亡率差不多正好是农村的两倍"。由于这些统计既包括富人也包括穷人，所以要保持城镇赤贫居民和农村居民的人口比例不动，其降生的数量无疑需要提高两倍以上。对妇女来说，如果结婚太早，那是高度有害的；因为在法国发现"20岁以下已婚妇女的死亡率为未婚妇女的两倍。"20岁以下的已婚男子的死亡率也是"非常高"的④，但其原因是什么，似乎还无法确定。最后，如果男子在能建立一个舒适家庭之前，谨慎地推迟结婚，那么，像他们常常做的那样，将会选择壮年的妇女，这样，优等阶级人口增长率的减少只是微乎其微而已。

根据1853年所做的大量统计，证明全法国年龄在20岁至80

① 5、6世纪入侵并定居于英国的日尔曼民族。——译注。

② 公元前1000年左右居住在中欧、西欧的部落，其后裔今散布在爱尔兰、威尔士、苏格兰等地。——译注

③《苏格兰的出生与死亡情况第十次年度报告》(Tenth Annual Report of Births, Deaths &c. , in Scotland), 1867年, 29页。

④ 引文系摘自关于这等问题的英国最高权威法尔博士的一篇论文：《结婚生活对法国人死亡率的影响》，此文曾在"社会科学全国促进会"宣读，1858年。

岁之间的未婚男子比已婚男子的死亡率高得多，例如：每千名年龄在 20 岁至 30 岁之间的未婚男子中，每年死亡者为 11.3 人，而已婚男子死亡者仅为 6.5 人[1]。相似的规律被证明也适用于 1863 和 1864 年苏格兰 20 岁以上的男子人口普查，例如：每千名年龄在 20 岁至 30 岁之间的未婚男子中，每年死亡者为 14.97 人，而已婚男子死亡者仅为 7.24 人，这就是说，比一半还少[2]。斯塔克博士关于这一点说道，"独身比最有害健康的行业或者比居住在最有害健康的房屋或地方——那里对改善环境卫生从来没有过长远的打算——对生活更加有害"。他认为死亡率的降低乃是"结婚以及比较有规律的家庭生活习惯"的直接结果。然而他承认酗酒、荒淫以及犯罪的人，寿命不长，一般都不结婚；还必须承认，体质衰弱的、健康不良的、身体或心理有任何重病的人们往往都不愿结婚，或者人家拒绝同他们结婚。斯塔克博士似乎得出这样一个结论，即结婚本身为延年益寿的一个主要原因，因为他发现已婚老人在这一点上仍然胜过同样高龄的未婚者；但每个人一定都知道有些人的事例：他们在幼年时期不健康，没有结婚；虽然他们终生衰弱因而寿命或结婚的机会一直在缩小，但仍然活到高龄。还有另一个值得注意的情况似乎可以支持斯塔克博士的结论，即：在法国，寡妇和鳏夫同已婚者相比，前者的死亡率要高得多；不过法尔博士把这种情形归因于由家庭破坏而引起的贫穷和恶习，并且归因于遭到不幸后的悲痛。总之，我们同意法尔的说法，可以做出这样的结论：已婚者比未婚者的死亡率低，似乎是一般的法则，这"主要是由于对不完善类型的经常淘汰，以及对最优秀个体在连续世代中的巧妙选择"；这仅仅是和婚姻情况有关的选择，而且这种选择对身体的、智力的

---

① 法尔博士，同上文，下述引文亦摘自同一篇著名论文。

② 我引用的数字是《苏格兰的出生和死亡情况第十次年度报告》(1867 年)中所载的五年平均数。引用斯塔克博士的话载于《每日新闻》(*Daily News*)，1868 年 10 月 17 日，法尔博士认为此文写作严谨。

以及道德的所有属性都发生作用①。因此，我们可以推论，健康的和善良的人们出于谨慎而暂时不结婚，其死亡率也不会高。

上述两节所举的各种抑制因素，也许还有其他抑制因素，如果不能制止社会上那些不顾一切乱来的、邪恶的以及其他方面低劣的分子的增长速度快于优等阶层的人们，那么这个民族就要退化，这在世界历史中已屡见不鲜。我们必须记住，进步并非是永恒不变的规律。为什么某一个文明民族兴起，比另一个民族更强大，而且分布得更广；或者，为什么同一个民族在某一个时期比在另一个时期进步较快，对此很难有所说明。我们只能说，这是决定于人口实际数量的增加，决定于赋有高度智能和道德官能的人们的数量，同时还决定于他们的美德标准。身体构造似乎也有一点小影响，不过只是在旺盛的身体活力导致旺盛的心理活力的情况下才如此。

有几位作者极力主张，高度的智力既有利于一个民族，如果自然选择的力量是真实的话②，那么在智力方面高出于曾经存在的任何种族的古希腊人就应该愈益提高其智力，增加其人口数量，而遍布于整个欧洲。这里有一个不言而喻的假设，这是常常对身体构造做出的，即：心理和身体的连续发展有某种内在的倾向。但是，所有种类的发展都决定于许多共存的有利环境条件。自然选择的作用只是试探性的。个人或种族可能获得了某些无可争辩的优势，然而由于其他特性不好，也不免于灭亡。古希腊人之所以衰退，可能由于许多小邦之间缺少团结，可能由于整个国土不大，可能由于实行奴隶制，也可能由于极度耽于声色口腹之乐；因为直到“他们削

① 关于这个问题，邓肯博士说道：(《生殖力、生育性及不育性》，1871年，334页)，“在各个时期，健康而美丽者常从未婚一方走到已婚一方，于是未婚一方便充满了不幸的病弱者。”

② 参阅高尔顿先生关于这个问题的有独创性的最初论点，见《遗传的天才》，340—342页。

弱和腐败到极点"[①]然后才败亡。现今欧洲西部民族超越其以往野蛮祖先的程度是不可估量的，他们站在文明的顶峰，虽然他们受惠于古希腊人的著作至多，但其优越性来自这个非凡民族的直接遗传却很少，或者全无。

谁能肯定地说出一度如此占有优势西班牙民族为什么在竞争中被远远甩在后面了。自从中世纪黑暗时代以来，欧洲诸民族的觉醒是一个更加错综复杂的问题。正如高尔顿先生所说的，在古代那一时期，几乎所有本性高尚的人，要想沉思冥想或进行精神修养，除了投入必须严守独身生活的教会的之外[②]，简直没有任何隐身之所；这几乎不可避免地要对相继的各代发生退化的影响。在这同一时期，宗教法庭刻意搜捕思想最自由和行动最勇敢的人们，把他们烧死或囚禁起来。仅在西班牙，最优秀的人士——他们遇事持怀疑态度并且提出问题，而没有怀疑就不能有进步——在三个世纪内每年被消灭的数以千计。天主教会所造成的这等罪恶是无法数清的，虽然在其他方面无疑会有某种程度的、也许很大程度的平衡作用；尽管如此，欧洲还是以无比的速度前进了。

同其他欧洲民族相比，英国人在殖民方面获得了惊人的成功，这曾被归因于他们的"果敢和不挠的精力"；把英国血统的加拿大人和法国血统的加拿大人的进步做一比较，就会很好地说明其结果；但是，谁能说出英国人是怎样得到其精力的呢？有人相信美国的惊人进步及其人民的特性乃是自然选择的结果，这是非常正确的；因为，精力较强的、勤劳勇敢的人们在最近 10 代到 12 代期间

① 格雷格先生，《弗雷泽杂志》，1868 年 9 月，357 页。

② 《遗传的天才》，1870 年，357—359 页。法勒牧师提出过相反的论点（《弗雷泽杂志》，1870 年 8 月，257 页）。莱伊尔爵士在一段引人注目的文章中[《地质学原理》，(Principles of Geology)，第 2 卷，1868 年，489 页]要求人们注意宗教审判所发生的恶劣影响，通过选择它降低了欧洲的一般智力标准。

从欧洲各地迁移到这片大陆，而且在那里获得了最大的成功[①]。从遥远的未来来看，我并不认为津克以下的观点是夸大的，他说[②]，"所有其他一系列事件——如希腊精神文明所产生的事件和罗马帝国所产生的事件——只有同盎格鲁·撒克逊人的巨大西移潮流这一事件相联系，毋宁说作为它的次要事件来看，似乎才有意义和价值。"文化进步的问题固然还是模糊不清，但我们至少能够看出，一个民族如果在长年累月中不断产生最大数量的高智力的、精力旺盛的、勇敢的、爱国的以及仁慈的人，一般就会比天赋较差的民族占有较大的优势。

自然选择来自生存斗争；而生存斗争则来自人口的迅速增加。对于人类的增加速度，我们不能不痛苦地感到遗憾，这是否明智，则是另一个问题；因为，这在野蛮部落中导致杀婴以及许多其他弊害，在文明民族中导致赤贫、独身以及谨慎小心的人们实行晚婚。但是，由于人类蒙受到的身体弊害同次级动物一样，所以他没有权力期望去避免由生存斗争所引起的弊害。如果人类在原始时代未曾受自然选择所支配，那么他决不会达到现在这样的地位。因为我们在世界许多部分看到还有土壤肥沃的广阔区域能够维持大量的美满家庭，却只有少量游牧的未开化人生活于其间，因此，可以这样说，生存斗争并没有达到足够的剧烈程度以迫使人类向上发展到最高的标准。根据我们所知道的人类以及次级动物的全部情况来判断，他们的智能和道德官能对于通过自然选择而发生的稳定进步永远有足够的变异性。毫无疑问，这种进步需要许多共存的有利环境条件；不过，如果没有人口的迅速增加以及由此引起的极其剧烈的生存斗争，最有利的环境条件是否会发生足够的作用，还是

---

① 高尔顿先生，《麦克米伦杂志》，1865年8月，325页。再参阅《达尔文主义与国民生活》(On Darwinism and National Life)一文，见《自然》(*Nature*)，1869年，12月，184页。

② 《美国的最后冬天》(Last Winter in the United States)，1868年，29页。

完全可以怀疑的。例如，根据我们在南美一些地方所看到的情况来说，甚至一种可以称为文明的民族，如西班牙殖民者，看来当生活条件很安逸的时候，就容易变得懒惰而致倒退。关于高度文明的民族，其不断进步在次要程度上还决定于自然选择；因为，这等民族并不像野蛮部落那样，彼此取代而被消灭之。尽管如此，从长远观点来看，同一群体内智力较高的成员比智力较低的成员将会获得较大的成功，留下较多的后代，这就是自然选择的一种形式。进步更加有效的原因似乎在于：当幼年期间头脑易受影响时施以良好教育，由最有才能和最优秀的人士反覆灌输高标准的美德，体现民族的法律、风俗和传统，并且由舆论进行强制。然而，应该记住，舆论的强制性决定于我们能够鉴别他人的称赞和谴责；这种鉴别是以我们的同情为基础的，而同情作为社会本能的一个最重要因素最初通过自然选择而得到发展，简直是无可怀疑的①。

关于所有民族一度曾为野蛮民族的证据

这个问题已由卢伯克爵士②、泰勒先生、伦南先生等人进行了充分的和可称赞的讨论，我在这里只是叙述一下他们所得结果的最简短提要而已。最近阿盖尔公爵③提出的和以前沃特利大主教提出的论点支持了这样一种信念：认为人类本来是作为一种文明者进入这个世界的，所有野蛮人是由于此后发生了退化，在我看来，这种论点同另一方所提出的论点相比似乎就显得虚弱了。许多

---

① 我非常感激约翰·莫利(John Morley)对这个问题所做的极好批评；再参阅布罗卡(Broca)的《论选择》(Les Sélections)，见《人类学评论》(Revue d'Anthropologie)，1872 年。

② 《论文化的起源》(On the Origin of Civilisation)，见《人种学会会报》(*Proc. Ethnological Soc.*)，1867 年 9 月 26 日。

③ 《原始人类》(Primeval Man)，1869 年。

民族无疑都曾与文明背道而驰，有些可能堕入完全野蛮的状态，虽然我还没有遇到过关于后面这一点的证据。火地人大概为其他胜利的游牧民族所迫，定居在现今那块荒凉的地方，结果他们可能变得有点更加退化了；但很难证明他们已经降到博托克多人以下，而博托克多人却是在巴西的最好地方居住的。

所有文明民族都是野蛮人的后裔，其证据在于：一方面，在现今依然存在的风俗、信仰、语言等等之中，还有他们以往低等状态的明显痕迹；另一方面，已证明未开化人能够独立地在文明等级上提高少数几步，而且他们确曾这样提高过。有关第一方面的证据是极其奇妙的，我还不能在这里举出：我谈到的这等例子是关于计数技术的，正如泰勒所明确阐述的，这同现今在某些地方依然使用的字有关，计数发源于手算，最初用一只手，然后用两只手，最后连脚趾也用上了。在我们自己使用的十进制以及在罗马数字上都有这种痕迹，罗马数字的 V 料想为一只人手的简形，在 V 之后为 VI 等等，当时无疑两只手都用上了。再者，"当我们说三个 20 加 10 时，我们是用二十进制计算的，每个 20 在概念上代表一个整人，如墨西哥人或加勒比人所云"①。按照一个日益扩大的学派的语言学者们的意见，每一种语言都有其缓慢而逐渐进化的痕迹。书法亦复如此，因为字母就是图形代表的痕迹。凡是读过雷南的著作② 的人，简直不能不承认几乎所有文明民族至今仍然保持着用暴力抢婚那样的粗野习俗。同一位作者问道，能够举出什么古代民族原本就实

① "大不列颠皇家协会"(Royal Institution of Great Britain)宣读，1867 年 3 月 15 日。还有，《对人类初期历史的研究》，1865 年。

② 《原始婚姻》，1865 年。再参阅显然是同一位作者所写的一篇优秀的论文，见《北英评论》，1869 年，7 月。还有，莫尔根先生的《关于亲属关系的社会等级，体系的起源之推测》，见《美国科学院院报》(*Proc. American Acad. of Sciences*)，第 7 卷，1868 年 2 月。沙夫赫生博士说过"在荷马史诗和《旧约全书》中都曾记载过用人做献祭品的遗风，"见《人类学评论》，1869 年，10 月，373 页。

行一夫一妻制吗?正义的原始概念,如仍然保留其痕迹的战争法以及其他风俗所阐明的,同样也是最粗野的。许多现存的迷信正是以往虚假宗教信仰的残余。宗教的最高形态——上帝憎罪恶而爱正义的崇高概念——在原始时代是不知道的。

转来谈谈另一类证据:卢伯克爵士曾阐明,最近有些未开化人在某些技艺方面稍有进步。他所做的非常奇妙的叙述表明,世界各地未开化人使用的武器、工具以及技 艺差不多都是独立发明的,也许取火的技术除外①。澳洲土人的飞镖②是这种独立发明的一个良好事例。塔希提人③当最初被发现时,在许多方面就比其他波利尼西亚诸岛上大多数居民进步。关于秘鲁土著居民和墨西哥土著居民的高度文化是由国外传来的信念④,并没有充分的根据;那里栽培着许多本地植物并饲养少数本地动物。从大多数传教士所发生的影响很小来判断,我们应该记住,来自某一半文明地方的一群漂流者如果被冲到美洲海岸,若非当地土著居民已经多少有点进步的话,这群漂流者对他们是不会发生任何显著影响的。看看世界历史的远古时代,用卢伯克爵士的著名术语来说,我们就可以发现一个旧石器时代和新石器时代;没有人会妄称磨制粗陋燧石器的技术是从外边传来的。在欧洲的所有地方,一直东到希腊,在巴勒斯坦、印度、日本、新西兰以及包括埃及在内的非洲,都曾发现过大量的燧石器;而现今居民都没有保持使用它们的任何传统。关于中国人和古代犹太人以前都使用过石器,也有间接的证据。因此,差不多包括全部文明世界的这等地方的居民一度都处于野蛮状

① 卢伯克爵士,《史前时代》,第2版,1869年,第15、16章。再参阅泰勒的《人类的早期历史》一书中最优秀的第9章。

② 为澳洲土著的武器,用曲形坚木制成,打出去可飞回原处。——译注

③ 南太平洋塔希提岛上的土著居民。——译注

④ 米勒在《诺瓦拉游记:古生物学,第三部》(Reise der Novara; Anthropolog, Theil, Abtheil iii, 1868年, 127页),做过一些良好的论述。

态，这简直是无可怀疑的了。认为人类原本是文明的，其后在许多区域发生了完全退化的那种信念，乃是可怜而又可鄙地低看了人类的本性。而认为进步远比退步更加普遍，并且认为人类虽然经过缓慢而中断过的步骤却由低等状态上升到今天那样的知识、道德和宗教的最高标准，显然是一种更加真实、更加令人振奋的观点。

第 六 章

人类的亲缘和系谱

人类在动物系列中的位置——系谱的自然分类法——价值微小的适应性状——人类同四手类在各个细微之点上的类似——人类在自然分类中的等级——人类的发源地及其古老性——作为连接环节的化石的缺少——第一根据人类亲缘、第二根据人类构造推论出来的人类系谱较低诸阶段——脊椎动物的早期雌雄同体状态——结论

纵使承认人类同其关系最近的同源动物之间在身体构造方面的差异大到像某些自然学者们所主张的那样，而且纵使我们必须承认他们之间在心理能力方面的差异也是巨大的，但上述各章所列举的事实看来还以最明显的方式表明了人类是从某一较低等类型演变下来的；尽管连接的环节迄今尚未被发现，也是如此。

人类容易发生众多的、微小的和各式各样的变异，这等变异就像在次级动物中那样，是由同样的一般原因所引起的，并且受到同样的一般规律的支配而遗传下去。人类增殖得如此之快，以致他必然要处于生存斗争之中，因而要受到自然选择。人类产生了许多种族，其中有些种族彼此差异如此之大，以致他们常常被自然学者们列为不同的种。他的身体是按照同其他哺乳动物一样的同源图案构成的。他通过同样的胚胎发育阶段。他保持着许多残迹的和无用的构造，毫无疑问，这些构造以前一度是有用的。性状不时在其身上重现，我们有理由相信他的早期祖先曾经具有这等性状。如果

人类的起源完全不同于一切其他动物，则上述种种表现只能是一种空洞的欺骗；但承认这一点乃是令人难以相信的。相反地，如果人类和其他哺乳动物都是某一未知的、较低等类型的共同后裔，则上述表现就是可以理解的了，至少在很大程度上是可以理解的。

有些博物学者们由于对人类的心理和精神动力有深刻的印象，所以把整个有机界分为三个领域，即：人类、动物界、植物界，这样就把人类立为单独的一界①。博物学者无法对精神能力进行比较或加以分类：但他可以像我曾经做的那样，尽力阐明人类和次级动物的心理官能虽在程度上有巨大差异，但在种类上并无不同。一种差异的程度不论多么大，也不能证明我们把人类列为独特的一界是正当的，把两种昆虫，即无疑属于同纲的蚧虫和蚂蚁的心理能力加以比较，也许会对这一点做出最好的说明。在这里，二者心理能力的差异大于人类和最高等哺乳动物之间心理能力的差异，虽然其种类多少有点不同。雌蚧虫当幼小时用喙附着在一种植物上，吸其液汁，此后不再移动；于是受精产卵；这就是它的全部生活史。另一方面，描述工蚁的习性及其心理能力，像胡伯尔所做的那样，则需要巨卷著作；但我将简略地列举少数几点。蚁类肯定会彼此互通消息，若干蚁联合起来进行同一项工作，或者在一起游戏。分离数月之后，还能认识它们的同群伙伴，而且彼此会感到同情。它们建筑大厦，保持清洁，晚间关闭门房，并设警卫。它们修筑道路以及在河床下面修筑隧道，架设临时桥梁以连接在一起。它们为群体聚集食物，如运回窝中的东西太大而不能进门时，它们就把门开大，然后修复原状。它们贮存子实，防止它们发芽，如果受潮，就把子实运到地面上进行干燥。它们畜养蚜虫和其他昆虫作为“奶牛”。它们以整齐的队列出发征战，并且为了公共福利从容地牺牲自己的

① 关于各个博物学者在其分类法中给人类安排的位置，小圣·伊莱尔有过详细叙述，见《博物学通论》，第2卷，1859年，170—189页。

生命。它们按照事先预定的计划进行迁徙。它们俘获奴隶。它们把蚜虫的卵和自己的卵、茧运到窝中暖和的部分，以便它们尽快孵化；还可以举出无数相似的事实[①]。总之，蚂蚁和蚧虫之间在心理能力方面的差异是巨大的；但从来没有人梦想过把这两种昆虫放入不同的纲，更不用说放入高得多的不同的界了。这两种昆虫之间的差异无疑可以由其他昆虫衔接起来，但人类和高等猿类之间的差异就不是这样了。不过我们有各种理由可以相信，这一系列的中断仅仅是许多类型已经绝灭的结果。

欧文教授主要根据脑的构造把哺乳动物分为四个亚纲。他把人类专门列为一个亚纲，又把有袋类和单孔类合并列为另一个亚纲；所以他把人类从其他哺乳动物区分出来正如把有袋类和单孔类合并起来一样。就我所知道的来说，凡是能够做出独立判断的博物学者，都不同意这一观点，因而无须在这里给予进一步讨论。

我们能够理解，为什么以任何单一性状或器官为根据的分类法——即使这种器官异常复杂而重要得像脑那样——或以心理官能的高度发达为根据的分类法，几乎肯定被证明是不能令人满意的。这一原则确曾对膜翅类昆虫试用过；但是，当以它们的习性或本能进行这样分类时，便证明这种排列法是彻底人为的了[②]。当然，无论根据什么性状，如身体大小、颜色或居住的自然条件进行分类都可以；但博物学者们长期以来就深信有一种自然分类法。这种分类法现已得到普遍承认，它必须尽可能地按照谱系进行排列，——这就是说，同一类型的共同后裔必须纳入一个类群中，而同任何其他一个类型的后裔分开；但是，如果亲本类型彼此有关

---

① 关于蚁类的习性，贝尔特先生在其《博物学者在尼加拉瓜》(1874 年)一书中，发表过一些最有趣的事实。再参阅莫格里奇先生的令人钦佩的著作《农蚁》(Harvesting Ants)，1873 年，以及《两个世界评论》，1870 年 2 月，682 页。

② 韦斯特伍德(Westwood)，《昆虫的新近分类》(Modern Class of Insects)，第 2 卷，1840 年，87 页。

系，那么它们的后裔也要如此，并且两个类群合在一起就会形成一个更大的类群。几个类群之间的差异量——这就是各个类群、所发生的变异量——则由属、科、目、纲这样专门名词表示之。因为关于生物由来的系统，我们没有记录，所以只能根据对被分类的生物之间的类似程度所做的观察，才能发现谱系。为了这个目的，多数的类似之点要远比在少数几点的相似量或不相似量重要得多。如果两种语言在大量的单词和构造上彼此类似，它们就会被认为是从一个共同的根源发生的，尽管它们在某些少数单词或构造上有重大差异，也是如此。但对生物来说，类似之点的形成必须不是由于对相似生活习性的适应；例如，两种动物由于都在水中生活，其全部身躯可能都发生变异，然而在自然分类中却不会因此把它们放得更近一点。因此，我们可以知道，在若干不重要的构造上，在无用的和残迹的器官上、即在现今已无功能作用或处于胚胎状态下的器官上，彼此的类似性何以对分类是最重要的；因为这等类似性几乎不能是在晚近期间由于适应而形成的；这样，它们就揭示了远古的生物由来的系统，即真正的亲缘。

我们还能进一步知道，某一种性状的巨大变异量为什么不应引导我们把任何两种生物分得很远。一个部分如果和亲缘相近类型的同一部分已经大不相同，那么按照进化学说，这个部分已经发生了重大变异；因而它就容易进一步发生同一种类的变异；这等变异如果是有利的，大概会保存下来，并由此而不断地扩大。在许多场合中，一个部分的不断发展，例如鸟喙或哺乳动物牙齿的不断发展，对这个物种获得食或达到任何其他目的都不会有什么帮助；但关于人类，我们还看不出脑和心理官能的不断发展，仅就利益而言，有什么一定界限。因此，在自然分类，即谱系分类中决定人类的位置时，不应认为极度发达的人脑其重要性超过其他较不重要的或完全不重要的大量彼此类似的部分。

大多数博物学者当考察了人类的全部构造及其心理官能之

后，每依布鲁曼巴哈和居维叶之说，把人类放在单独的一目，名为双手目，因此同四手目和食肉目等处于相等地位。最近我们许多最优秀的博物学者们又重新遵循如此富有洞察力的林纳最先提出来的观点，他们把人类和四手类放在同一个目，名为灵长类。这一结论的正确将会得到承认：因为，第一，我们必须记住，人脑的高度发达对分类来说在比较上并没有什么重要意义，而人类和四手类的头骨之间的强烈显著差异（比肖夫、阿比以及其他一些人的最近主张）显然由于它们脑的不同发达所致。第二，我们必须记住，人类和四手类之间的几乎一切其他更加重要的差异显然是由于对它们本性的适应而发生的，而且主要同人类的直立姿势有关；如人类的手、足、骨盆的构造，脊骨的弯曲以及头部的位置，都是如此。关于适应的性状对分类不很重要，海豹提供了良好例证。这等动物在其体形上，在其四肢构造上同所有其他食肉类的差异，远远大于人类和高等猿类在这方面的差异；然而在大多数分类法中，从居维叶分类法一直到最近的弗劳尔分类法①，只不过把海豹列为食肉目的一个科。如果人类不是他自己的分类者，大概不会想到为了容纳自己而设置一个单独的目。

把人类和其他灵长类动物在构造上的无数一致之点列举出来，并不在我的讨论范围之内，而且也完全不是我的知识所能及的。我们伟大的解剖学家和哲学家赫胥黎教授已对这个问题做过充分讨论②，他的结论是：人类在其体制的一切部分上与高等猿类的差异，小于猿类与同一类群较低等成员的差异。因而"把人类列为一个独特的目，是不正确的。"

在本书的前一部分，我曾列举各种事实以阐明人类在体质上

① 《动物学会会报》(*Proc, Zoolog, Soc.*)，1863年，4页。

② 《关于人类在自然界中的位置的证据》(Evidence as to Man's Place in Nature)，1863年，70页及以下诸页。

同高等动物是多么密切一致；这种一致性决定于我们在微小构造和化学成分上的密切相似。我曾举出一些事例来说明，我们有感染同样疾病的倾向，而且有受到相似寄生虫侵袭的倾向；我们对同样的兴奋剂有共同的嗜好，而且这等兴奋剂以及各种药物对我们会产生同样的效果，还有其他诸如此类的事实。

因为人类和四手类之间的微小而不重要的类似之点，在分类学著作中普遍没有受到注意，并且因为当这等类似之点为数众多时就揭示了我们之间的亲缘关系，所以我将列举少数几点加以说明。人类和四手类的面貌上的相应部位是显著相同的；各种情绪是由肌肉和皮肤——主要是眉的上部以及口的周围的肌肉和皮肤——的差不多相似的运动所表现出来的。某些少数表情的确是差不多一样的，例如某些猴的种类的哭泣，以及其他一些种类的嘈杂大笑，在这样的时候，它们的嘴角向后扯，而且眼睑起皱。彼此的外耳异常相似。人类的鼻远远高出大多数猴类的鼻；但我们可以从白眉长臂猿的鹰钩鼻查出猴类高鼻的开端，至天狗猴①的鼻就大到可笑的极点了。

许多猴类的面部装饰有下巴胡子、连鬓胡子或上唇胡子。天狗猴属一些物种的头发非常之长②；帽猴的头发自头顶的一点散出；向下至中部而分开。都说前额使人有了高贵而智慧的面貌；但是，帽猴的浓密头发向下骤然终止，接下去的毛如此短而细，以致前额除去眉毛之外，还有一小段看来好像是完全无毛的。有人错误地断言，任何猴都没有眉毛。刚才提到的那个物种的前额无毛，其程度

① 即 *Semnopithecus nasalis*，多群栖于加里曼丹等处的沿河乔木上，鼻长而突出，雄性老猴者尤长，可运动自如，且如吻，故又名“长鼻猴”proboscis monkey. ——译注

② 若弗鲁瓦(Isid Geoffroy)，《博物史通论》(Hist. Nat. Gér.)，第2卷，1859年，237页。

在不同个体有所不同；埃舍里希特说[①]，我们小孩的有发头皮和无毛前额之间的界限有时并不十分明显；所以我们在这里似乎找到了一个有关返祖的微小事例，人类祖先的前额那时还没有完全无毛。

众所周知，我们手臂上的毛由上下两方趋向肘的一点。这种奇异的排列同大多数低等哺乳动物都不相似，却同大猩猩、黑猩猩、猩猩、长臂猿的某些物种、甚至某些少数美洲猴类的臂毛排列相同。但是，敏捷长臂猴前臂上的毛以正常方式向下趋向腕部；白手长臂猿前臂上的毛差不多是直立的，稍微向前倾斜而已；所以在后一物种中臂毛的趋向正处于一种过渡状态。大多数哺乳动物背部的厚毛及其趋向适应于雨水流下，简直是无可怀疑的；甚至狗的前腿上横向的毛，当它卷曲起来睡觉的时候，也可用于这个目的。华莱士先生曾仔细地研究过猩猩的习性，他说，猩猩的臂毛趋向肘部可以解释为便于雨水流下，因为这种动物在阴雨天弯臂而坐，用双手环握树枝或放在头部之下。按照利文斯通的说法，大猩猩也是"在倾盆大雨中把双手置于头部之上坐在那里。"[②] 如果上述解释是正确的话，看来似乎很可能如此，则人类臂毛的趋向提供了一个有关我们往昔状态的奇妙记录；因为谁也不会假定现今在便于雨水流下方面它还有任何用处；而且在我们现今直立的状况下，它也不适合这种目的了。

然而，关于人类及其早期祖先的臂毛趋向，不要轻率地过分相信适应的原理；因为，凡是研究过埃舍里希特所绘制的人类胎儿身上毛的排列图（成人也是一样），不可能不同意这位最优秀的观察家所说的还有其他更加复杂的原因。毛的趋向各点似乎同胚胎最

---

① 《论人类身体的龙毛》(Ueber die Richtung der Haare)，见米勒的《解剖学和生理学的历史文献》(*Archiv für Anat. und Phys.*)，1873年，51页。

② 里德(Reade)引用，《非洲见闻录》(The African Sketch Book)，第1卷，1873年，152页。

后停止发育各点有某种关联。看来四肢上毛的排列似乎还同髓动脉的走向有某种关联[①]。

千万不要假定，人类和某些猿类在上述各点以及许多其他诸点——例如前额无毛和头部的长发束等等——的类似，一定全是从一个共同祖先继续不断遗传的或后来返祖的结果。许多这等类似更可能是由于相似变异；如我在他处试图阐明的那样[②]，相似变异的发生是由于共同起源的生物具有相似的体质，并且被诱发相似改变的相同原因所作用。关于人类和某些猴类前臂毛的相似走向，因为这一性状几乎为一切类人猿所共有，大概可以把它归因于遗传，但也并非肯定如此，因为某些亲缘很远的美洲猴类也具有这样性状。

我们已经看到，人类虽然没有正当权利为了容纳自己而设立一个单独的目，但他或者可以要求一个独特的亚目或科，赫胥黎教授在晚近的著作中[③]把灵长类分为三个科：即，人科，只包含人类；猴科，包括所有种类的猴；狐猴科，包括狐猴的多种多样的属。就构造某些重要之点的差异而言，人类无疑可以合理地要求一个亚目的等级；如果我们所注意的主要是他的心理官能，那么这一等级就太低了。尽管如此，从系谱的观点来看，这个等级好像又太高了，人类只应形成一个科，可能甚至仅仅是一个亚科。如果我们想象从一个共同祖先发出的三条系统线，那么完全可以料想到，其中有两条经过长年累月之后所发生的变化如此微小，以致依然保持同属的

① 关于长臂猿的毛，参阅《哺乳动物志》(Nat. Hist. of Mamm.)马丁著，1841年，415页。关于美洲猴和其他种类，也可参阅若弗鲁瓦的《博物史通论》，第2卷，1859年，216、243页，埃舍里希特，同前书，46、55、61页。欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，619页。华莱士，《对自然选择学说的贡献》，1870年，344页。

② 《物种起源》，第5版，1869年，194页。《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，1868年，348页。

③ 《动物分类导论》(An Introduction to the Classification of Animanls)，1869年，99页。

物种地位，而第三条所发生的改变却如此重大，因而可以列为一个独特亚科、一个科或者甚至一个目。但在这种情况下，几乎可以肯定，第三条线通过遗传依然会保持类似于另外两条线的众多微小之点。于是，这里发生了迄今不好解决的一个难题，即在我们的分类中，对于差异强烈显著的少数各点——这就是说，对于已经发生的变异量应该给予多大注重；而对于那些表示系统线或系谱的众多不重要各点的密切类似，又应该给予多大注重。虽然许多微小的类似各点作为显示真正的自然分类来说，对其给予重大注意，看来是比较正确的，但对于少数而强烈的差异多予注重，却是最明显的而且恐怕是最稳妥的道路。

当对人类这一问题下一判断时，我们必须看一看猴科的分类。几乎所有博物学者都把这一科分为狭鼻猴群、即旧世界猴类和阔鼻猴群、即新世界猴类。所有前者正如它的名称所表示的，都以鼻孔的特殊构造以及上下颚具有四个前臼齿为特征；所有后者（包括两个很特殊的亚群）却以不同构造的鼻孔以及上下颚具有六个前臼齿为特征。此外还有一些微小差异。那么，毫无疑问，人类在其齿系方面，在其鼻孔构造方面，以及在其他方面，是属于狭鼻猴类、即旧世界猴类的；除了少数不十分重要而且显然是一种适应性的性状以外，人类同狭鼻猴类的类似均比同阔鼻猴类的类似更为密切。所以，要说某些新世界物种以往发生了变异，并且产生了具有旧世界猴类所固有的一切独特性状的类人动物，同时失去了它自己所有独特的性状，乃是完全不可能的。因而人类是旧世界猴类系统的一个分支，并且从谱系观点来看，必须把他划为狭鼻猴的同

类，几乎是无可怀疑的。①

大多数博物学者都把类人猿，即大猩猩、黑猩猩、猩猩和长臂猿作为一个独特的亚群，同其他旧世界猴类分开。我知道葛拉条雷根据脑的构造不承认这一亚群的存在，而且无疑它是一个中断的亚群。例如，米伐特先生说②，“可以看到猩猩是这一目中最特殊而脱离常轨的类型之一。”有些博物学者还把其余不是类人的旧世界猴类分为两三个更小的亚群；具有特殊囊状胃的天狗猴属就是这等亚群的一个典型。但是，根据高德利在古希腊雅典城邦的惊人发见，那里在中新世期间曾经存在过一个连接天狗猴属和猕猴属的类型；这大概证明了其他较高等的诸类群一度混合在一起的方式。

如果承认类人猿形成一个自然的亚群，那么，因为人类同他们的一致，不仅表现在人类同狭鼻猴群所共有的一切性状上，而且表现在无尾、无胼胝那些特殊性状上，同时还表现在一般面貌上，所以我们可以推论，那个类人亚群的某一古代成员产生了人类。通过相似变异的法则，任何一个其他较低等亚群的成员大概不可能产生在许多方而都同较高等类人猿相类似的类人动物。人类同其大多数亲缘相近者比较起来，曾经发生了非常大的变异量，这主要是人类脑部及其直立姿势巨大发展的结果；尽管如此，我们还应该记住，他“不过是灵长目的几个例外类型之一而已。”③

凡是相信进化原理的每一位博物学者都会同意猴科的两个主要部分即狭鼻猴类和阔鼻猴类及其亚群全是出自某一极古的祖先。这一祖先的早期后裔在其彼此分歧到相当程度之前，大概依然

① 这同米伐特先生暂定的分类法差不多是一样的（《科学协会会报》，1867年，300页），他把灵长目分为狐猴科（Lemuridæ）、人科（Hominidæ）和猴科（Simiadæ），这三者相当于狭鼻猴类、卷尾猴科（Cebidæ）和狨科（Hapalidæ），后两个类群则相当于阔鼻猴类。米伐特先生现仍坚持上述观点，参阅《自然》，1871年，481页。

② 《动物学会会报》（*Transact. Zoolog. Soc.*），第6卷，1867年，214页。

③ 米伐特先生，《科学协会会报》（*Transact. phil. Soc.*），1867年，410页。

形成一个单一的自然群；但有某些物种，即初生的属大概已经开始以其分歧的性状表明了狭鼻猴类和阔鼻猴类的未来独特标志了。因此，这一假定的古代类型成员在其齿系或其鼻孔构造上，一方面既不像现存的狭鼻猴类，他方面也不像阔鼻猴类那样地非常一致，而在这一点上却同亲缘相近的狐猴科相类似，后者在其鼻口部的形状上彼此差别重大[①]，而其齿系的差别程度就非常之大了。

狭鼻猴类和阔鼻猴类毫无问题完全属于同一个目，这阐明了它们的很多性状是彼此一致的。它们所共有的那些性状简直不能由如此众多的物种那里分别获得；因此，这等性状一定是遗传的。但是，一个古代类型如果具有狭鼻猴类和阔鼻猴类所共有的许多性状，其他处于中间状态的性状而且恐怕还有少数不同于这两个类群的性状，那么一个博物学者无疑会把它分类为一种猿或一种猴的。从系统的观点来看，由于人类属于狭鼻猴类，即旧世界的猴类系统，所以我们必须做出结论说，人类的早期祖先也应该这样称呼才是适当的，不管这个结论多么有损于人类的骄傲[②]，都必须如此做。但我们千万不要犯这样的错误：认为包括人类在内的整个猴类系统的早期祖先同任何现存的猿或猴是完全一致的，或者是密切类似的。

人类的诞生地及其古老性

自然我们要被引导着去追问，当我们的祖先从狭鼻猴类系统分出来的时候，人类在那一进化阶段的诞生地是在哪里呢？他们属

① 莫里先生和米伐特先生论狐猴科，《动物学会会报》，第 7 卷，1869 年，5 页。

② 关于这一点，赫克尔做出同样的结论，参阅《论人类的发生》(Ueber die Entstehung des Menschengeschlechts)，见微尔和(Virchow)的《普通学术报告》，1868 年，61 页。再参阅赫克尔的《自然创造史》，1868 年，在该书中他详细地叙述了他的关于人类谱系的观点。

于这一系统的事实明确地指出，他们那时是栖居于旧世界的；但不是澳洲，也不是任何海洋岛，从地理分布的法则可以推论出这一点。在世界各个大区内，现存哺乳动物和同区绝灭物种是密切关联的。所以同大猩猩和黑猩猩关系密切的绝灭猿类以前很可能栖居于非洲；而且由于这两个物种现今同人类的亲缘关系最近，所以人类的早期祖先曾经生活于非洲大陆，而不是别处，似乎就更加可能了。但是，对这个问题进行推测是无益的；这是因为有两三种类人猿，其中之一为拉脱特命名的森林古猿①，同人差不多一样大，而且同长臂猿的亲缘关系密切，曾在中新世生存于欧洲；再者，还因为地球从一个如此遥远的时代以来，肯定发生过许多重大变动，并且对极大规模的移居会有充分时间。

无论何时，也无论何地，当人类最初失去其覆毛的时候，很可能是栖居于一处炎热地方的；根据类推来判断，人类那时以果实为生，所以那里大概是适于这种情况的一种环境。我们远远不知道，人类在多久以前才最初从狭鼻猴系统派生出来；但可能是发生于始新世那样远古的时代；因为森林古猿的存在阐明，早在后期中新世高等猿类就从低等猿类派生出来了。我们完全不晓得，生物——无论在等级上多高或多低——在适宜的环境条件下可能以怎样的速度发生变异；然而我们知道，有些生物经过漫长的时间还保持了同样的形态。根据我们所看到的在家养下发生的情况，我们知道，同一物种的共同后裔在同一期间内，有些可能完全不变化，有些可能稍微变化，有些则可能大大地变化。因此，人类也可能是这种情形，同高等猿类比较起来，人类在某些性状上曾发生过大量变异。

在生物链上，人类同其最近亲缘种之间的巨大断裂是无法由

① 福尔西·马若尔(C. Forsyth Major)博士，《在意大利发现的猴类化石》(Sur les Singes Fossiles trouvés en Italie)，见《意大利博物学会会报》，第15卷，1872年。

绝灭的或现存的物种连接起来的，这常常被提出来作为一种重大理由来反对人类起源于某种低等类型的信念；但对那些根据一般理由相信一般进化原理的人们来说，这种反对理由看来并没有多大分量。在生物系列的所有部分常常出现断裂，有些是广阔的、突然的和明确的，其他断裂则较小，程度有种种不同；例如，猩猩和其最近亲缘种之间——跗猴和其他狐猴科动物之间——象和所有其他哺乳动物之间，都是如此，而鸭嘴兽或针鼹和其他哺乳动物之间的情况就更加显著。但是，这种断裂仅仅被绝灭了的亲缘类型数量所决定。在将来的某一时期，以世纪来衡量这一时期不会很远，人类的文明种族几乎肯定要在全世界内消灭和取代野蛮种族。同时，正如沙夫赫生教授所说的[①]，类人猿无疑也将被消灭。那时人类和其最近亲缘种之间的断裂将更加广阔，因为现在的断裂在于黑人或澳洲土人和大猩猩之间，而那时的断裂，将在文明状态甚至高于白种人的人类——如我们所期望的——和低于狒狒的某种猿类之间。

关于连接人类和其似猿祖先之间的化石遗骸的缺乏，凡是读过莱伊尔爵士论述[②]的人，都不会过份注重这一事实，他指出在所有脊椎动物纲中发现化石遗骸乃是一个很缓慢而偶然的过程。我们也不应忘记，地质学者们迄今还没有探查到那样的地区，在那里最可能提供一些连接人类和某种绝灭的类猿动物之间的遗骸。

人类系谱的较低诸阶段

我们已经知道，人类看来是从狭鼻猴类即旧世界猴类派生出

① 《人类学评论》，1867年4月，236页。

② 《地质学原理》，1865年，583—585页。《人类的源远流长》(Antiquity of Man)，1863年，145页。

来的，而后者在此之先又是从新世界猴类派生出来的。现在我将努力追溯一下人类系谱的古远遗迹，这主要依据各个纲之间和各个目之间的相互亲缘关系，也要稍微涉及到他们相继出现于地球之上的可以确定的时期。狐猴科接近猴科，而位于其下，组成了灵长类中一个很独特的科，或者，根据赫克尔和其他人士的看法，组成了一个独特的目。这一类群的歧异和断裂已达到异常程度，其中包括许多畸变类型。所以，它很可能大量绝灭了。大部分残存者都生活在像马达加斯加和马来群岛那样的岛屿上，在那里它们所面临的竞争并不像在物种繁多的大陆上那样剧烈。同样，这一类群也呈现许多等级，这些等级之多，就像赫胥黎所说的[①]，“从动物界最高顶峰的生物缓慢地向下直到最低等的哺乳动物——同那些胎盘哺乳动物中最下属的、最小的而且智力最低的生物看来仅仅只差一步。”从这种种考察看来，猴科很可能原本就是从现存的狐猴科祖先发展而来的；而狐猴科又是从哺乳动物系列中最低等类型发展而来的。

有袋类在许多重要性状上都低于胎盘哺乳动物。有袋类是在较早的地质年代出现的，它们以往的分布范围要比现在广阔得多。因此，一般假定胎盘类起源于无胎盘类即有袋类；但不是起源于密切类似现存有袋类的类型，而是起源于有袋类的早期祖先。单孔类同有袋类的亲缘关系显然密切，前者在哺乳动物的大系列中形成了第三个还要更低的部门。今天它们仅以鸭嘴兽和针鼹为其代表；而这两个类型可以有把握地被视为更加大得多的类群的残遗，其代表种在澳洲由于某些共同起作用的环境条件而被保存下来了。单孔类是显著有趣的，因为它把若干重要的构造特点引向爬行动物纲。

当我们在哺乳动物、因而在人类的系列中向下追踪其系谱时，

① 《人类在自然界中的位置》，105 页。

将会愈来愈大地卷入暧昧不明之中；但是，正如一位最有才能的评论家派克先生论述的，我们有良好的理由可以相信，在动物由来的直接系统中，并不存在真正的鸟或爬行动物。凡是想知道才智和学识能起多大作用的人，不妨请教一下赫克尔教授的著作①。我很愿意举出少量的一般论述。每一位进化论者都会承认，五个大的脊椎动物纲，即哺乳类、鸟类、爬行类、两栖类都是从某一个生物原型传下来的；因为它们有许多部分是共同的，尤其在胚胎状态下是如此。由于鱼类的构造是最低等的，而且出现于其他几类之前，因此我们可以断言，脊椎动物界的一切成员都是从某一种似鱼的动物派生出来的。如果相信性质如此截然不同的动物，如一种猴、一种象、一种蜂鸟、一种蛇、一种蛙和一种鱼等等，完全来源于相同的双亲，那么对那些没有注意到博物学晚近进步的人们来说，这一信念就显得荒谬绝伦了。其所以如此，是因为这一信念意味着以前曾经存在过一些环节把所有这等现今完全不相像的类型紧密连接在一起。

尽管如此，肯定有些类群的动物曾经存在过，或者现在仍然存在着，多少紧密地把几个大的脊椎动物纲连结在一起了。我们已经看到，鸭嘴兽逐渐向着爬行类变化；赫胥黎教授发现，并为科普及其他人士所证实，恐龙类在许多重要性状上，介于某些爬行类和某些鸟类之间——这里提到的鸟类是指鸵鸟族（它本身显然是一个较大类群的广为分布的残余）和始祖鸟，这种奇异的次级鸟具有一条蜥蜴那样的长尾。再者，按照欧文教授的说法②，鱼龙类——具

① 在他的《普通形态学》一书中有详细的各表阐明及此，在他的《自然创造史》(Natürliche Schöpfungsgeschichte)一书中特别论及人类。赫胥黎教授在评论后一著作时(《科学院院报》(The Academy)，1869年，42页)说道，他认为赫克尔可称赞地讨论了人类由来的系统，虽然他对某些方面还持有异议。他对全书的要旨和精神给予了高度评价。

② 《古生物学》(Palæontology)，1860年，199页。

有鳍状肢的大型海蜥蜴——同鱼类表现有许多亲缘关系，根据赫胥黎的意见，更确切地是同两栖类有许多亲缘关系；两栖动物纲在其最高部分包含着蛙类和蟾蜍类，它显然同硬鳞鱼类密切近似。光鳞鱼类在较古的地质时期非常繁盛而且其构造是所谓一般的基本模式，这就是说，它同其他生物类群表现有各式各样的亲缘关系。南美肺鱼同两栖类和鱼类也非常密切近似，以致博物学者们长期以来都在争论应该把它分类在哪一纲；肺鱼类，还有某些少数硬鳞鱼类由于栖居在作为避难所的河湾，免于完全绝灭，而被保存下来了，这些河湾同大洋的关系正如岛屿同大陆的关系一样。

最后，巨大而变化多端的鱼纲还有一个唯一无二的成员，叫作文昌鱼，它和其他鱼类如此不同，以致赫克尔主张它在脊柱动物界中应该形成一个独特的纲。这种鱼以其反面的性状而著称；简直不能说它有脑、脊柱或心脏等等，所以先前的博物学者们曾把它分类在蠕虫中。许多年以前，古德瑟教授发现文昌鱼同海鞘类表现有某种亲缘关系，而海鞘类乃是无脊椎的、雌雄同体的水生动物，永久附着在一个支持物上。它们简直不像动物，体部有一种简单的、粗糙的、坚韧的囊，具有两个突出的小孔。它们属于由赫胥黎命名的拟软体动物门——位于软体动物大界的较低部分；但是，最近有些博物学者把它放在蠕形动物中。它们的幼体在形状上同蝌蚪多少类似①，具有自由游动的能力。科瓦列夫斯基② 最近观察到海鞘类的幼体在其发育方式上，在神经系统的相对位置上，而且在一种同

① 我在福克兰群岛于1883年4月满意地看到了一种复海鞘的能够运动的幼体，这一发现早于其他博物学者数年之久；复海鞘同 *Synoicum* 密切相似，但显然不是同属。其尾长为椭圆形头部的五倍左右，尾端为一很细的丝状体。我曾用简单的显微镜绘制过它的图，它明显地被横向不透明的部分开，我设想这代表科瓦列夫斯基所绘的大细胞。在发育的早期阶段，尾部紧密地缠绕在幼体的头部。

② 《圣彼得堡科学院研究报告》（*Mémoires de l'Acad. des Sciences de st. Pétersbourg*），第10卷，第5期，1866年。

脊椎动物的脊索密切相似的构造上，都同脊椎动物相关联；库弗尔教授后来证实了这一点。科瓦列夫斯基教授从那不勒斯写信给我说，他现在对此正做进一步观察，如果他的结果充分地得到证实，那将是一项极有价值的发现。这样，要是我们可以依据胚胎学——从来就是分类的最稳妥的指南，看来我们最终就会得到一条追踪脊椎动物起源的线索①。于是，可以证明我们持有如下的信念是有道理的，即，在极其遥远的时代，曾有一动物类群存在过，它们在许多方面都同现今的海鞘类幼体相类似，海鞘类曾分为两大支——一支在发育上退化了，产生海鞘类现在这一纲，另一支产生了脊椎动物，因而上升到动物界的顶峰。

在其相互亲缘关系的帮助下，我们对脊椎动物的系谱，就大略地追踪至此。现在我们来看看现存的人类；我想，我们能够部分地恢复人类早期祖先在相继时期内的构造，但不是按照适当的时间顺序。根据人类依然保持的残迹器官，根据通过返祖在人类中时而出现的一些性状，并且在形态学和胚胎学的帮助下，我们是能够做到上述那一点的。我在这里将要提到的各种事实曾在以上各章叙述过。

人类的早期祖先一定曾经一度全身被毛，男女都长胡须；他们的耳朵大概是尖形的，并且能够活动；体部有尾，具适当的肌肉。那时他们的四肢和体部还有许多对其起作用的肌肉，现在只是偶尔重现，但在四手类中却是正常存在的。在这一时期或某一更早时期，上膊骨的大动脉和神经是由髁上孔穿过的。盲肠要比现在的大

① 但是，我理应补充一点：有些有能力的评论家们对这一结论还有争议，例如，捷得在《实验动物学文献》(1872年)中就此发表了一系列论文。尽管如此，这位博物学家还谈到(281页)，"海鞘类幼虫的组织非任何假说和理论所可解释，由此可见，仅仅依靠对生活条件的适应，自然界就能使无脊椎动物产生出脊椎动物的基本形态(脊索的存在)，我们虽不知这两大门动物的过渡实际上是怎样完成的，但根据这一过渡的简单可能性，这两大门之间不可逾越的鸿沟就得以填平了。"

得多。从胎儿的大拇趾来判断，那时的脚是能抓握的；我们的祖先无疑有树栖的习性，并出没于温暖的、覆盖着森林的地方。男性生有巨大的犬齿，用做锐利的武器。在更加早得多的时期，子宫是双重的；粪便由泄殖腔排泄出来；而且有第三眼睑即瞬膜来保护眼睛。在还要更早的时期，人类的祖先一定具有水生的习性；因为形态学明显地告诉我们，人类的肺是由一种改变了的鳔构成的，后者一度作为浮囊之用。人类胎儿颈部的裂隙表明那里曾经一度有鳃存在。在我们每月或每周定期运转的机能中，还清楚地保有我们原始诞生地的痕迹，那里曾是潮水冲激的滨岸。大约在与此同样早的时期，真肾是由伍大氏体（中肾）来代替的。心脏仅仅是一种简单的搏动器；脊索代替了脊柱。在朦胧时代的遥远过去，如此看来，这等人类早期祖先的构造一定像文昌鱼那样简单，或者，甚至比文昌鱼的构造还要简单。

还有另外一点更加值得充分注意。长期以来就知道，在脊椎动物界中，某一性别生有属于生殖系统的各种附属部分的残迹物，这等部分本来是属于另一性别的；现在已经确定，在很早的胚胎时期，雌雄两性都有真正的雄性腺和雌性腺。因此，整个脊椎动物界的某一遥远的祖先看来曾经是雌雄同体的①。但在这里我们遇到了一个特别的难题。在哺乳纲中，雄性在其前列腺囊中具有子宫及其连接管道的残迹；它们还有乳房的残迹，而且某些有袋类的雄者有袋囊②。还可以再举出另外一些与此近似的事实。那么，某种极

① 这是比较解剖学最高权威格根鲍尔（Gegenbaur）教授所做的结论，见《比较解剖学的主要特点》（Grundzüge der vergleich Anat.），1870年，876页。这主要是对两栖类进行研究的结果；但是，根据沃尔戴耶（Waldeyer）的研究（《解剖学和生理学杂志》，1869年，161页），甚至“高等脊椎动物在性器官的早期状态时都是雌雄同体的”。相似的观点长期以来为某些作者所坚持，但直到最近还缺乏坚实的基础。

② 雄的袋狼（*Thylacinus*）提供了最好的事例。欧文，《脊椎动物解剖学》（Anatomy of Vertebrates），第3卷，771页。

其古代的哺乳动物在获得这一纲的主要特征之后，因而在它从脊椎动物界的较低诸纲分出来之后，我们还能假定它继续是雌雄同体的吗?这似乎是很不可能的，因为我们势必指望在鱼类　脊椎动物界中最低的一纲里去寻找依然是雌雄同体的类型①。每一性别所固有的附属部分，如果在相反性别处于残迹状态，对此可做如下解释，即，这等器官逐渐由某一性别获得，然后以多少不完全的状态遗传给另一性。当我们讨论性选择时，我们将遇到无数这样遗传的事例，——如雄鸟为了战斗或装饰获得了距、羽毛以及耀眼的色泽，这等性状则以一种不完善的或残迹的状态遗传给雌鸟。

雄性哺乳动物具有功能不完善的乳房器官，从某些方面看是特别奇妙的。单孔类动物有一种正常泌乳的腺和孔口，但没有乳头；由于这等动物在哺乳动物系列中位于最低级，所以哺乳纲的祖先很可能也是只有泌乳腺，而没有乳头。已经知道的它们的发育方式支持了这一结论，因为特纳教授根据克利克尔和朗格尔的权威材料告诉我说，在胚胎中，当乳头一点也看不到之前，就可以明显地查出乳腺；而个体的相继诸部分的发育一般代表着同一个由来系统的相继诸生物的发展，二者正好一致。有袋类同单孔类的差别在于前者有乳头；所以很可能是有袋类在从单孔类分出来并高于

① 在鮨鱼属(*Serranus*)的几个种中以及在某些其他鱼类中曾经观察到雌雄同体的情况，这等鱼类或是正常而对称的，或是异常而单侧的。祖特文(Zouteveen)博士给过我关于这一课题的参考资料，特别是哈尔贝茨玛(Halbertsma)教授在《荷兰科学院院报》(*Transact. of the Dutch Acad. of Sciences*)第16卷发表的一篇论文尤为重要。京瑟(Günth)博士怀疑这个事实，但现在有如此众多的优秀观察家们做过这方面的纪录，以致没有任何争论的余地了。莱索纳(M. Lessona)博士写信告诉我说，他曾证实卡沃利尼(Cavolini)对鮨鱼所做的观察。埃科利尼(Ercolini)教授阐明鳗鲡是雌雄同体的[《波洛尼亚科学院院报》(*Accad. delle Scienze, Bologna*)，1871年12月28日]。

其上之后，最先获得了这个器官，然后传给了有胎盘的哺乳动物①。在有袋类大致获得了它们现今这样的构造以后，没有人会假定它们依然保存着雌雄同体状态。那么，我们又如何解释雄性哺乳动物还有乳房呢？可能是乳房先在雌者得到发展，然后传给了雄者，但从下述情况看来，这简直是不可能的。

如果根据另一种观点，也可提出如下的看法，即，在整个哺乳纲的祖先久已停止雌雄同体以后，雌雄两性还都泌乳，这样来养育它们的幼仔；在有袋类的场合中，雌雄两性都有养育幼仔的育儿袋。看来这好像是并非完全不可能的，如果我们考虑到下述情形：现存的海龙类的雄鱼把雌鱼的卵放在它们的腹囊内，进行孵化，如有些人所相信的，此后还在其中养育幼鱼②；——某些其他种类的雄鱼在口中或鳃腔中孵卵；——某些雄蟾蜍从雌者那里取来卵环，放在自己的大腿周围，使其风干，一直到把它们孵化成蝌蚪为止，——某些雄鸟完全担负起孵卵的任务，还有，雄鸽以及雌鸽都用嗉囊中的分泌物来饲喂雏鸽。但是，我最初想到上述看法，是由雄性哺乳动物的乳腺所引起的，其乳腺要比其他附属生殖部分的残迹物发达得多，这等附属生殖部分虽然为某一性别所固有，却见于另一性别。像现在雄性哺乳动物所有的乳腺和乳头实际上简直不能称为残迹的；它们只是没有充分发育而且机能活动力不强而已。在某些疾病的影响下，它们可以变得像雌者的同类器官那样地

① 格根鲍尔曾阐明[《耶拿杂志》(*Jenatche Zeifschrifr*)，第7卷，212页]，在几个哺乳动物目中有两种不同模式的乳头，这二者怎么会来源于有袋类的乳头，而后者又来源于单孔类的泌乳器官，则是完全可以理解的，参阅麦克斯·赫斯(Max Huss)关于乳腺的研究报告，同前杂志，第8卷，176页。

② 洛克伍德(Lockwood)先生[《科学季刊》(*Quart. Journal of Science*)，1868年4月，269页]根据对海马发育的观察，雄者的腹囊壁在某种方式上提供营养。关于雄鱼在口中孵卵，参阅怀曼教授的一篇很有趣的论文，见《波士顿博物学会会报》(*Proc. Boston Soc. of Nat. Hist.*)，1857年9月15日；再参阅特纳教授的论文，见《解剖学和生理学杂志》，1866年，第1期，78页。京藤博士也描述过相似的事例。

合用。它们常常在出生时或在青春期泌出少数几滴乳汁，这一事实曾在以前提到的一个奇妙事例中发生过，这一事例就是一个男性青年具有两对乳房。在男人和某些其他雄性哺乳动物中，这等器官据知有时变得如此充分发育，以致可以泌出丰富的乳汁。于是，如果我们假定，在先前一个长期内，雄性哺乳动物帮助雌者去哺育后代[①]，以后由于某种原因（如由于产仔数量的减少），雄者不再提供这种帮助，那么器官在成熟期的不使用将会导致它们变得不活动；而且根据两项众所周知的遗传原理，这种不活动状态很可能在相应的成熟期中传递给雄者。但是，在一个较早的时期，这等器官大概没有受到影响，所以在雌雄两性的幼仔中它们差不多是同等充分发育的。

结 论

冯贝尔解释生物等级的提高或增进比其他任何人都好，他的解释是以一种生物的几个部分的分化程度和特化程度为依据的，——我愿补充一点，即这等部分是达到成熟期的。那么，由于生物通过自然选择缓慢地对多种多样的生活方式变得适应了，它们的一些部分由于从生理分工得到利益，也会在各种功能上变得越来越分化和特化了。同一部分好像常常最初是为了一个目的而改变了，于是经过长期以后又为了另一个完全不同的目的发生了改变；这样，所有部分都变得越来越复杂了。但是每一种生物依然保持着其最初祖先的一般构造模式。按照这种观点，如果我们转向地质学的证据，全体生物似乎在整个世界上都以缓慢而中断的步骤向前进了。在脊椎动物这个大界中，到人类便达到顶点。然而，千

① 鲁瓦耶（C. Royer）在她的《人类的起源》（Origine de l' Homme）中提出过相似的观点。

万不要假定，一旦生物类群产生其他更加完善的类群之后，它们就永远被取代而消失。更加完善的类群虽然胜过它们的先辈，但可能不会变得更好地适应于自然组成中的一切地方。有些古老类型由于栖居在有保护的处所，看来还会生存下来，在那里它们没有遇到很剧烈的竞争；这等类型可以使我们对既往消失的种群得到一个合理概念，于是在构成人类的系谱方面对我们有所帮助。但我们千万不要犯这样的错误：认为任何体制低等类群的现存成员都是它们古代先辈的完全代表。

我们对脊椎动物界中的最古老祖先虽然只能有一种模糊认识，但它们显然是由一个同现存海鞘类幼体相类似的水生动物类群组成的①。这等动物很可能产生了像文昌鱼那样低等体制的鱼的类群；从此一定又发展出硬鳞鱼类以及像肺鱼那样的其他鱼类。从这种鱼再向前做很小的迈进，就会把我们带到两栖类。我们已经看到，鸟类和爬行类一度是紧密连接在一起的；而且单孔类现在已经轻微地把哺乳类和爬行类连接起来了。但是，今天谁也无法说出

① 海岸生物所受潮汐的影响一定很大，无论生活在高潮线或低潮线的动物都必须每两周通过一次潮汐变化的完全循环。因此，它们的食物供给每周都要发生显著的变化。这等动物在这等条件下生活了许多世代，其生活功能几乎都要规则地按每周运转。那么，有一个难以理解的事实，即在高等的、现今为陆栖的脊椎动物以及另外一些纲中，许多正常的和异常的过程都是以一周或多周为期的；如果脊椎动物起源于同现今在潮汐中生存的海鞘类相近似的动物，上述情况就是可以理解的了。可以举出许多有关这等周期过程的事例，如哺乳动物的妊娠期、疾病的间歇热等皆是。卵的孵化也提供了一个良好的例子，因为，按照巴特利特(Bartlett)的说法[《陆与水》，(*Land and Water*)，1871年1月7日]，鸽卵的孵化为两周；鸡卵的孵化为三周；鸭卵的孵化为四周；鹅卵的孵化为五周；鸵鸟卵的孵化则为七周。就我们所能判断的来说，任何一种过程或机能的循环周期，如果是在大致准确的期间内进行的，一旦获得之后，就不易再起变化；因而它将会通过几乎任何代数这样被传递下去。但是，如果机能变化了，周期势必也要变化，而且会按整个一周几乎突然地发生变化。这个结论如果正确，则是值得高度注意的；因为，每一种哺乳动物的妊娠期、每一种鸟卵的孵化期以及许多其他生命过程就这样向我们泄漏了这等动物的原产地。

三个比较高等而关联的纲，即哺乳类、鸟类和爬行类通过怎么生物由来的系统从两个较低等的纲，即两栖类和鱼类派生出来的。在哺乳纲中，从古代的单孔类到古代的有袋类所经过的步骤，再从此到胎盘哺乳类的步骤，是不难想象的。这样，我们便可以向上追溯到狐猿科；再从此到猴科，其间隔并不很广阔。于是猴科分为两大支，一为新世界猴类，一为旧世界猴类；在一个遥远的过去时期，人类——宇宙的奇迹和光荣——从旧世界猴类产生出来了。

如上所述，我们曾指出人类有一个非常悠久的系谱，但或者可以说，他并不具有高尚的品质。人们常常说，这个世界为了人类的到来好像做了长期的准备：在某种意义上，这是完全正确的，因为他的诞生要归功于祖先的悠久系统。这条链索的任何一个环节如果从来没有存在过，人类大概就不会同现在完全一样。除非我们故意闭上双眼，那么根据我们现有的知识，我们大致可以认识我们的来历，我们无需为此感到羞耻。最低等的生物也远比我们脚下的无机尘土高出许多；一个人如果不持偏见，研究任何生物，无论其低等到何等地步，也不会不被它的奇异构造和性质所深深打动。

第七章

论人类种族

物种性状的性质及其价值——对人类种族的应用——支持和反对把所谓人类种族分类为独特的物种——亚种——一元发生论者和多元发生论者——性状的趋同——最不相同的人类种族之间在身体和心理上的无数类似之点——人类最初分布于全地球之上时的状况——每一个种族都不是来源于单独一对配偶——种族的绝灭——种族的形成——杂交的效果——生活条件直接作用的轻微效果——自然选择的轻微作用或没有作用——性选择

我无意在这里描述几个所谓的人类种族；但我要在分类学的观点下，对于什么是种族之间的差异价值以及它们是怎样起源的加以探索。在决定两个或两个以上近缘类型是否应该分类为物种或变种，博物学者们实际上是以下述事项为指针的；即，它们之间差异量，这等差异是否同少数或许多构造之点有关系，而且这等差异是否具有生理上的重要性；但更为重要的是，它们是否稳定。博物学者们所重视的和追求的主要是性状的稳定性。无论何时，只要能够阐明问题中的类型长期保持其独特性，或者很可能如此，这就可以成为一个很有分量的论点，把它们分类为物种。任何两个类型当第一次杂交时，那怕有轻微程度的不育性，或者其后代如此，那么一般就视为这是一个决定性的证据，用来鉴别它们物种的独特性；如果它们在同一区域内继续持久地不相混合，通常就把这种情况作为某种程度的不育性的充分证据，或者，在动物的场合中就把

这种情况作为某种程度的相互拒绝交配的充分证据。

撇开由于杂交而混合的情况不谈，在一个经过充分研究的地区里，如果完全缺少一些变种来联结任何两个亲缘密切的类型，那么这大概就是一个最重要的准则，用来鉴别它们物种的独特性；单单从性状的稳定性来看，这多少是一种不同的考虑，因为两个类型可能是高度易变的，而且还没有产生中间变种。地理分布的作用常常是无意识的，有时是有意识的；因此，生活在距离辽远的两个区域内的类型，——在那里大多数其他生物如果都是独特的物种——其本身通常也会被视为独特的物种；其实这对认识地理宗和所谓完美的或真正的物种之间的区别并无助益。

现在，让我们把这等一般公认的原理应于人类的种族，以博物学者观察任何其他动物的同样精神来观察人类。关于种族之间的差异量，我们必须承认，我们从观察自己的长期习惯中得到了良好的识别能力。在印度，正如埃尔芬斯通所论述的，一个新到的欧洲人虽然不能识别各种不同的土著种族，但他很快就会发现他们是极不相似的[①]；印度人最初也不能看出几个欧洲民族之间有任何差别。甚至特性最明确的人类种族在形态上的彼此非常相似，也远远超出了我们最初所能设想的；罗尔夫斯博士写信告诉我，我也曾亲自看到，有些黑人部落具有高加索人的面貌，但某些部落必须除外。在巴黎博物馆人类学部的搜集品中，有一些法国人拍摄的各个不同种族的照片，它们充分阐明了人类种族的一般相似性，我曾把这些照片给许多人看过，他们都认为其中大多数可以冒充高加索人。尽管如此，如果我们看到这些真人，他们无疑还会显得特性很明确，所以单是毛发色和肤色，面貌的轻微差别以及表情声调，显然都会大大影响我们的判断。

---

① 《印度史》(History of India)，1841 年，第 1 卷，323 页。利巴神甫对中国人也做过同样记述。

然而，经过仔细的比较和测量，毫无疑问各个不同民族彼此差别甚大，——如毛发的组织、身体所有部分的相对比例①、肺的容量、头颅的形状和容量，甚至脑旋圈②，都是如此。但是，要列举无数的差异之点乃是一项无尽无休的工作。各个种族在体质上、适应气候上、以及感染某些疾病上都有差别。他们的心理特性同样地也很不相同；这主要表现在他们的表情上，部分地也表现在他们的智能上。凡是有机会进行这种比较的人，一定都会被沉默寡言的、甚至是忧郁的南美土著居民和无忧无虑的、健谈的黑人之间的鲜明对照所打动。马来人和巴布亚人之间差不多也有相似的反差③，他们生活在同样的自然条件之下，彼此仅仅被一条狭窄的海域所分开。

现在我们先对那些支持把人类诸种族分类为独特物种的论据加以考察，然后再对反面的论据加以考察。一个博物学者以前从来没有见过黑人、霍屯督人④、澳洲土人或蒙古人，如果对他们加以比较，他将立刻觉察到他们的许多性状是有差别的，其中有些性状是次要的，有些性状则是相当重要的。经过调查，他会发现他们适于在广泛不同的气候下生活，而且他们在体质上或心理倾向上多少有点差别。如果告诉他说，从同一地方可以找来成千上百这样相似的标本，那么他会有把握地宣称，他们是不折不扣的人种，同他习惯地授以种名的那许多人种一样。一旦他确定了这等类型许多

① 《关于美国士兵的军事学和人类学的统计之研究》，古尔德著，1869年，298—358页，载有关于白人、黑人、印度人的大量测定数据。《关于肺的容量》（On the Capacity of the lungs），471页。再参阅魏斯巴赫（Weisbach）博士根据舍策尔（Scherzer）博士和施瓦茨（Schwarz）博士的观察材料所举出的大量有价值的表，见《诺瓦拉游记》（Reise der Novara），1867年。

② 例如，参阅马歇尔先生关于一个布西门妇女的脑的记载，见《自然科学学报》，1864年，519页。

③ 华莱士，《马来群岛》，第2卷，1869年，178页。

④ 生活于西南非洲。——译注

世纪以来全都保持同样的性状，而且至少在四千年前生活的黑人显然同现存的黑人完全一样①，那么上述结论就会大大得到加强。根据卓越的观察家伦德博士的权威材料②，他还会知道，在巴西洞窑内和许多绝灭动物埋藏在一起的人类头骨，同现今遍布于美洲大陆者属于同一模式。

于是，这位博物学者也许要转而注意到地理分布，他很可能宣称，那些类型一定是独特的人种，他们不仅在外貌上有差别，而且有些适于炎热的地方，有些适于潮湿的或干燥的地方，还有些适于北极地区。他也许要诉诸下列事实，即在次于人类的类群——四手类中没有一个物种能够抵御低温或气候的重大变化；而且同人类关系最近的物种甚至在欧洲的温和气候下也决不会被养育到成熟。亚加西斯③最初注意到的下述事实将会给他留下深刻的印象，即分布于全世界的人类诸种族所栖居的动物地理区，正是哺乳动物的确实独特的物种和属所栖居的那些动物地理区。澳洲土人、蒙古人以及黑人的诸种族显然如是；霍屯督人较不显著；但是，巴布亚人和马来人明显是这样的，正如华莱士先生所阐明的，把他们分

① 关于埃及著名的 Abou-Simbel 洞窟画像，普歇(M. Poucher)说[《人类种族多源论》(The Plurality of the Human Races)英译本，1864年，50页]，有些作者相信画上有 12 个以上民族的代表可以被辨认出来，但他都远远辨认不出来。甚至特征最显著的种族也不能被证实一致到那样的程度，就像在一些著作中关于这个问题所写的。例如诺特(Nott)和格利敦(Gliddon)二位先生说[《人类的模式》(Types of Mankind)，148 页]，埃及古王拉米塞斯二世的面貌非常像欧洲人，而另一位坚决相信人类种族是独特物种的克诺斯(knox)当谈到(《人类的种族》，1850 年，201 页)少年门南(Memnon，伯契先生告诉我说，他就是拉米塞斯二世)，却强烈地主张他的特性同安特卫普的犹太人相同。再者，当我看到阿姆诺甫(Amunoph)三世的塑像时，我同意博物馆二位职员的看法(二位都是优秀的鉴定家)，即，他有特征显著的黑人面貌；但诺特和格利敦二位先生则把他描写成一个混血儿，但没有伺"黑人混血"(同前书，146 页，53 图)。

② 诺特和格利敦在《人类的模式》(1854 年，439 页)中引用。他们还举出了确实的证据；但 C. 沃格特以为这个问题还需要进一步研究。

③ 《人类种族起源的多样性》见《基督的检查员》(Christian examiner)，1850 年 7 月。

开的那条线差不多就是划分马来和澳洲二大动物地理区的那条线。美洲土著居民分布于整个大陆，乍一看这种情形好像同上述规律相反，因为南半大陆和北半大陆的大多数生物大不相同；然而少数某些现存类型，如负鼠，也分布于南北大陆，巨大的贫齿目中有些成员以往就是如此。爱斯基摩人就像北极动物那样，环布于整个北极地区。应该看到，几个动物地理区的哺乳动物之间的差异量同这等动物地理区的隔离程度并不一致；所以简直不应把下述情形视为反常现象，即，如果以非洲大陆的和美洲大陆的哺乳动物与其他地区的哺乳动物之间的差别相比，黑人同其他人类种族之间的差别较大，而美洲土人同其他人类种族之间的差别则较小。还可以附带提一下，看来人类原本不是栖居在任何海洋岛上的；关于这一点，他同哺乳纲的其他成员是相类似的。

要决定同一种类家养动物的假定变种是否应如此分类，或应分类为独特物种，这就是说，它们之中是否有来源于独特的野生物种的，每一位博物学者都要十分强调它们的外部寄生虫是否为独特物种这一事实。当这是一种例外情形时，就要更加强调这一事实；因为丹尼先生告诉我说，在英国，种类大不相同的狗、鸡和鸽的身上寄生的虱子是同种的。默里先生曾仔细检查过从不同地方搜集来的不同人类种族的虱子①；他发现它们不仅在颜色上有差别，而且爪和脚的构造也不一样。不论采集多少标本，这种差异都是固定不变的。太平洋捕鲸船船医向我保证说，有些挤在船上的桑威奇群岛②居民身上的虱子传给英国水手之后，不出三四天就要死去。这等虱子的颜色较黑，看来同南美奇洛埃土人身上固有的虱子有差别，他曾给过我后者的标本。再者，这等虱子比欧洲虱子的个儿

① 《爱丁堡皇家学会会报》(*Transact. R. soc. of Edingburgh*)，第22卷，1861年，567页。

② 夏威夷群岛的旧称。——译注

大而且软得多。默里先生从非洲得到四种虱子，即两种得自非洲东海岸和西海岸的黑人，一种得自霍屯督人，一种得自卡菲尔人；他还从澳洲土著居民处得到两种；又从北美和南美各得两种。在后述这些场合中，可以推定那些虱子是来自不同地区的土著居民。昆虫只要有轻微的构造差异，如果固定不变，一般就会被估定有物种的价值：而人类诸种族身上的寄生虫如果属于独特的物种，这大概可以作为一个重要的论据来说明人类诸种族本身也应分类为独特的物种。

这位假想的博物学者的研究进行到这里时，下一步他也许要追查人类诸种族在杂交时是否有任何程度的不育性。这时他大概要请教慎重的、有哲人态度的观察家布罗卡教授的著作[①]，他在这部著作中将找到良好的证据来说明有些种族相交是十分能育的，不过关于其他种族也有相反性质的证据。例如，已经断定澳洲土著妇女和塔斯马尼亚土著妇女同欧洲男人很少生孩子；然而关于这方面的证据现在已被阐明几乎没有什么价值了。混血儿要被纯粹的黑人杀死：最近报道，有 11 个混血婴儿同时被谋杀而且被烧掉，他们的遗骸曾被警察发现[②]。还有，常常有人说，当黑白混血儿彼此通婚时，他们生的孩子很少；另一方面，查尔斯顿的巴赫曼博士[③] 肯定地断言，他知道一些黑白混血儿的家庭已经彼此通婚达数代之久，而他们的平均能育力与纯粹白人或纯粹黑人无异。莱伊

---

① 《关于人属的混血现象》(On the Phenomena of Hybridity in the Genus Homo)，英译本，1864 年。

② 参阅默里先生在《人类学评论》(1868 年 4 月，53 页)中发表的一封有趣的信，这封信驳斥了斯特莱斯基伯爵的如下叙述：澳洲土著妇女同白种男人生了孩子之后，再同自己种族的男人结婚就不生孩子了。夸垂费什也搜集了许多论据(《科学报告评论》，1869 年 3 月，239 页)，证明澳洲土著居民和欧洲人交媾，并非不育。

③ 《对亚加西斯教授的动物界自然分布区概述的检查》，查尔斯顿，1855 年，44 页。

尔爵士以前就这个问题做过调查，他告诉我说，他得到了同样的结论[①]。根据巴赫曼博士的材料，美国1854年的人口调查表明有黑白混血儿405,751人；就所有情况来考察，这个数字似乎偏小；但这可以由下述情况得到部分解释：这个阶级的地位低下而且反常，同时他们的妇女淫乱。一定数量的黑白混合儿经常被黑人所同化；这就导致了前者数量的明显减少。在一部可信赖的著作[②]中，黑白混血儿的低弱生命力被说成是一种众所周知的现象；这一点虽然同其能育性的变小有所不同，但或者可以作为一个证据来证明其亲代种族乃是独特的人种。毫无疑问，无论动物杂种或植物杂种，如果是由极独特的物种产生的，都有夭亡的倾向；但黑白混血儿的双亲并不属于极为独特的人种范畴。普通的骡子多么以其长命和精力强盛而闻名于世，而它又是多么不育，这阐明了在杂种中变小的能育性和生命力之间并没有多大的必然关联；还可以举出另外一些与此相似的例子。

正如今后可以证实的那样，即使所有人类种族彼此相交而完全能育，根据其他理由把人类分类为独特物种的人也许会正当地主张能育性和不育性并不是区别物种的安全标准。我们知道，这等特性容易受生活条件变化或密切近亲交配所影响，而且受高度复杂的法则所支配，例如，同样两个物种之间正交和反交的能育性就是不相等的。关于必须分类为确实物种的那些类型，从杂交绝对不育到差不多或完全能育有一个完整的系列。不育性的程度同双亲在外部构造或生活习性上的差别程度并不严格一致。人类在许多

① 罗尔夫斯博士写信给我说，他在撒哈拉大沙漠发现一些混合种族，系来源于三个部落的阿拉伯人、柏柏尔人、以及黑人的，他们特别能育。另一方面，里德先生向我说，黄金海岸的黑人虽然称赞白人和黑白混血儿，但有一句格言：黑白混血儿不应彼此结婚，因为他们生孩子少而且多病。正如里德先生所论述的，这一信念值得注意，因为白人访问和居住在黄金海岸已有400年历史了，所以黑人有充分的时间通过经验而得到知识。

② 《关于美国士兵的军事学和人类学的统计之研究》，古尔德著，1869年，319页。

方面可以同那些长期家养的动物相比拟，可以提出大量证据来支持帕拉斯学说①，他认为家养有消除不育性的倾向，而不育性乃是自然状况下物种间杂交的非常普遍的结果。根据这几点考察可以正当地主张，人类种族杂交的能育性，即使得到证实，也不致绝对阻碍我们不把它们分类为独特的人种。

撇开能育性不谈，杂交后代所表现的性状曾被认为可以表明亲代类型是否应该分类为物种或变种；但经过仔细研究证据以后，我得出这样的结论：没有一个这类的普遍规律可以信赖。正常的杂交结果会产生混合的或中间的类型；但在某些场合中，有些后代酷似这一亲代类型，有些却酷似另一亲代类型。如果双亲在最初表现为突然变异或畸形② 的那些性状上有所差别，上述情形就特别容易发生。我之所以提到这一点，是因为罗尔夫斯博士告诉我说，他

① 《动物和植物在家养下的变异》第 2 卷，109 页。我在这里提醒读者注意，物种杂交不育并不是一种特别获得的特性，就像某些树彼此不能嫁接在一起那样，这是由其他既获得的差异而附带发生的一种情形。这等差异的性质还不明，但它们特别同生殖系统有关系，而同外部构造或体质的正常差异的关系就少得多。物种杂交不育的一个重要因素显然在于一方或双方长期习惯于固定的条件；我们知道条件变化对生殖系统会产生特别影响，我们有良好理由相信（如上所述），多变的家养条件有消除不育性的倾向，而物种杂交不育在自然状况下则非常普遍。我在别处曾阐明（同前书，第 2 卷，185 页，《物种起源》，第 5 版，317 页），杂交物种的不育性并不是通过自然选择获得的：我们可以看到，两个类型如果已经成为很不育的了，那么它们的不育性几乎不可能通过保存那些日益不育的个体再把它们的不育性扩大；因为，当不育性增大之后，产生出来的后代则愈来愈少，最后仅仅在极稀疏的间隔时间内产出极少的个体而已。但是，还有较此为甚的更高级的不育性。格特纳（Gärtner）和克尔罗伊特（Kölreuter）都曾证明，在包含许多物种的植物属中，从杂交后结籽愈来愈少的物种到决不结一粒种子的物种可以形成一个系列，但它们仍受其他物种的花粉的影响，从子房有膨大可以看出这一点。在这里，要想选择更加不育的个体显然是不可能的，因为这些个体已经停止结籽了；所以，如果仅是子房受到影响，极度的不育性是无法通过选择而得到的。这种极度的不育性，无疑还有另外一些等级的不育性，乃是杂交物种体质中某些未知的差异所造成的附带结果。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，92 页。

在非洲屡屡见到，黑人同其他种族的人交媾之后，所生的后代不是完全黑的，就是完全白的，很少是混合颜色的。另一方面，众所周知，在美洲，黑白混血儿普通都呈现中间的外貌。

现在我们已经看到，这位博物学者也许以为他把人类诸种族分类为一些独特的人种是正确的；因为，他已经发现，他们是以许多构造上的和体质上的差异被区分的，其中有些是重要的。这等差异还很长期地几乎保持不变。这位博物学者在某种程度上将会被人类巨大分布范围所影响；如果把人类看为一个单独的物种，人类的分布范围在哺乳纲中，就会成为一个重大的反常现象。若干所谓人类种族的分布同其他哺乳动物的无疑是独特物种的分布彼此一致的情形将会把他打动。最后，他可能主张所有人之间的能育性迄今还没有得到证实，即使得到证实，这也不能作为绝对的证据来说明人类诸种族是同一个物种。

现在再从问题的另一个侧面来看，如果我们这位假想的博物学者去追查人类诸类型，当在同一处地方大量混合在一起时，是否像普通物种那样地保持其独特性，那么他大概会立刻发现，情况绝非如此。在巴西，他会看到大量的黑人和葡萄牙人的混血居民；在智利和南美的其他部分，他会看到整个人口是由印第安人和西班牙人的不同程度的混血儿构成的①。在同一大陆的许多部分，他会遇到黑人、印第安人和欧洲人最复杂的混血情况；根据植物界来判断，这种三重杂交对亲代类型的相互能育性提供了最严格的检验。在太平洋的某一个岛上，他会找到波利尼西亚人和英国人混血的少数居民；在斐济群岛上，有波利尼西亚人和矮小黑人②的各种混血程度的居民。还可以再提出许多与此相似的事例；比如在非洲就

① 卡特勒法热关于巴西的“保罗信徒”的成功和精力做过有趣的记载（《人类学评论》，1869年1月，22页），他们是葡萄牙人和印第安人多次混血的一个种族，而且还混有其他种族的血液。

② 分布在亚洲东南部及大洋洲。——译注

是这样。因此，人类居住在同一地方不会不融合而充分保持其独特性；而不融合对于物种的独特性乃是一项普通的和最好的检验。

当这位博物学者看到所有种族赖以区别的性状都是易于变异的，他同样会感到极大困惑。凡是最初看到从非洲各地输人到巴西的黑人奴隶，都要被上述这一事实所打动。波利尼西亚人以及许多其他种族也是如此。能否举出一个种族的任何性状是独特的而且是固定不变的，尚属疑问。正如常常所断定的那样，甚至在同一部落范围内的未开化人，其性状差不多也不是一致的。霍屯督妇女有某些特征，远比其他种族的那些特征显著，但是，据知这等特征也不是固定不变的。在几个美洲部落里，肤色和毛发的差别相当大；非洲黑人的肤色有一定程度的差别，他们面貌形状的差别就相当大了。有些种族的头骨形状变异很大[①]，各种其他性状也是如此。所有博物学者根据高价买来的经验现在都晓得，试图以不固定的性状来规定物种，则是何等轻率。

但是，一切论据中，反对人类种族是独特物种的最有分量的论据，乃是他们可以彼此逐渐级进；根据我们所能判断的来说，在许多场合中这与他们的相互杂交并无关系。对人类的研究要比对其他动物的研究来得仔细，而富有才华的鉴定家们的意见还有很大分歧，有的认为应该把人类分类为单独一个种或种族，有的认为应该分类为两个种（维瑞），分类为三个种（贾奎诺特），分类为四个种（坎特），分类为五个种（布卢门巴哈），分类为六个种（布丰），分类为七个种（亨特），分类为八个种（阿加西斯），分类为 11 个种（皮克林），分类为 15 个种（圣文森特），分类为 16 个种（德斯摩林），分类为 22 个种（莫顿），分类为 60 个种（克劳弗德），或者按照伯克的意

① 例如美洲的和澳洲的土著居民。赫胥黎教授说（《史前人类学国际会议文献》，1868 年，105 页），南部德国人和南部瑞士人的头骨和“鞑靼人的一样短而阔”等等。

见①,分类为 63 个种。这样判断的分歧,并非证明人类诸种族不应被分类为种,而是阐明他们彼此逐渐级进,还阐明在他们之间几乎不可能发现明显的独特性状。

凡是不幸对一个高度变异的生物类群做过描述的博物学者,都会遇到过这种同人类恰相类似的情况(我是根据经验这样说的);如果他的性情谨慎,最终他会把彼此逐渐等级的一切类型都放在单独一个物种之下;因为他要对自己说,他没有任何权利对他无法确定的对象授以名称。这类事例见于包括人类在内的"目",即见于某些猴属;然而在另外的属如长尾猴属中,大多数物种都可以确定无疑地被决定下来。在美洲的卷尾猴属中,种种类型被一些博物学家分类为物种,却被另外一些人士仅仅分类为地理宗。于是,如果从南美各地采集来大量的所有卷尾猴标本,而且现今看来是独特物种的那些类型被发现的紧密的阶梯彼此逐渐进级,那么通常就会把它们仅仅分类为变种或种族;关于人类种族,大多数博物学者也都遵循这种方针行事。尽管如此,还必须承认有些类型不得不被命名为物种,但它们却被无数等级连结在一起,而与杂交无关,至少在植物界中是如此②。

有些博物学者最近使用"亚种"这一术语来标示那些具有真正物种的许多特性的类型,不过还不值得给它们这样高的等级。现在,如果我们回想一下上面列举的那些有力论据,一方面要把人类诸种族抬高到物种的高位,另一方面在决定此事上又有不可克服的困难,那么,在这里使用"亚种"这一术语恐怕还是得体的。但是,

① 关于这个问题,魏茨(Waitz)作过好的讨论,参阅《人类学概论》(Introduct. to Anthropology),英译本,1863 年,198—208、227 页。我曾引自塔特尔(H. Tuttle)的《人类的起源及其古远性》,波士顿,1866 年,35 页。

② 内格利(Nägeli)教授在其《植物的中间类型》(Botanische Mittheilungen,第 2 卷,1866 年,294—369 页)一书中仔细地描述过几个显著事例,阿萨·格雷教授对北美菊科植物的一些中间类型做过同样叙述。

由于长久以来的习惯，“种族”这一术语也许要一直沿用下去。术语的选择只有在所用的术语尽可能地合乎表达同一程度的差异时才是重要的。不幸的是，很少能做到这一点，这是因为较大的属一般包括亲缘密切的类型，它们只能极其困难地被区别开，而同一科内较小的属所包括的类型则是完全区别分明的，然而所有这些都必须同等地分类为物种。还有，同一大属内的物种彼此相似的程度决不一样，相反地，其中有些物种一般可以作为环绕其他物种的小类群加以安排，就像卫星环绕行星那样①。

人类究竟是由一个人种或几个人种组成的，这是近几年来人类学者们广泛讨论的问题，他们分为两个学派，一是一元论者，一是多元论者。那些不承认进化原理的人们一定把人种视为分别创造的，或者在某种方式上把他们视为区别分明的实体；而且他们必须按照把其他生物分类为物种所通常使用的相似方法，来决定人类的什么类型应该被视为人种。但要想决定这一点，就会劳而无功，除非“物种”这一术语的某种定义能够普遍得到公认；而且这个定义还必须不包括像创造作用那样性质不明的成分。在没有任何定义的情况下，或许我们也能试着决定一定数量的房屋，是否可以被称为村、镇或城市。北美的和欧洲的许多亲缘密切的哺乳类、鸟类、昆虫类以及植物，彼此相互代表，它们究竟应分类为物种或分类为地理宗，还存在着无数的疑点，这是一个难于做出决定的实例；距离大陆极近的许多岛屿上的生物也是如此。

另一方面，那些承认进化原理的博物学者们会认为所有人类种族，无疑都是来源于单独一个原始祖先，并且这一原理现在已为大多数青年所承认了；不论他们是否认为应该把人类种族命名为区别分明的人种，以表达他们的差异量，都会这样认为的②。关于

---

① 《物种起源》，第5版，88页。

② 关于这种作用，参阅赫胥黎教授的看法，见《双周评论》，1865年，275页。

我们的家养动物，各式各样的族是否起源于一个或一个以上的族，似乎就是另外一个问题了。虽然可以承认所有的族以及同属的所有自然物种都发生于同一个原始祖先，但下述情况还是一个适于讨论的题目：例如所有狗的家养族是否从某一个物种最初被人类家养以来就获得了它们现今的差异量；或者，它们的某些性状是否从一个独特物种遗传而来，而这个物种在自然状况下已经发生了分化。关于人类，不会有这样的问题发生，因为不能说人类在任何特定阶段内曾被家养过。

在人类诸种族从一个共同祖先分化出来的早期阶段，种族之间以及他们的人数之间的差异一定很小；因此，就其有区别的性状而言，那时的人类种族比现存的所谓人类种族，更没有资格被分类为人种。尽管如此，人种这一术语是如此任意使用的，以致人类的这些早期种族恐怕还会被某些博物学者们分类为独特的物种；它们的差异，即使是极其轻微的，如果比它们现在的差异更为稳定或者没有彼此渐进为一，那些博物学者们就会这样进行分类的。

人类早期祖先的性状以往也许非常分歧，直到他们彼此之间的不相似比任何现存种族之间不相似更甚；可是，如福格特所提出的①，此后它们的性状又趋同了，这种情形并非是不可能的，但决不一定如此。当人类为了同一个目的选择两个独特物种的后代时，仅就一般外貌而言，他时常会引起相当的趋同量。正如冯·纳图西亚斯所阐明的②，从两个独特种传下来的猪的改良品种就是如此；牛的改良品种也是如此，但比较不显著。伟大的解剖学者格拉条雷主张，类人猿并不能形成一个自然的亚群；但猩猩却是高度发展了

---

① 《人类讲义》，英译本，1864 年，468 页。

② 《关于猪的族》(Die Racen des Schweines)，1860 年，46 页。《关于猪头骨历史的预备研究》(Vorstudien für Geschichte &c.，Schweineschädel)，1864 年，104 页。关于牛，参阅卡特勒法热的《人种的同一性》(Unité de l' Espèce Humaine)，1861 年，119 页。

的长臂猿即森诺猴，黑猩猩是高度发展了的猕猴，大猩猩是高度发展了的西非狒狒。这一结论几乎完全是以脑的性状为依据的，如果是可以被承认的话，那么这至少是一个外部性状趋同的例子，因为类人猿在许多方面的彼此相似肯定比它们同其他猿类的相似更甚。所有相近的类似性，如鲸和鱼的类似，的确都可以说成是趋同的例子；但这个术语决不能应用于表面的和适应的类似性。区别甚大的生物留下改变了的后裔，它们有许多构造上的性状是密切相似的，可是，要把这种相似性也归因于趋同，那就未免过于轻率了。一个结晶体的形态完全是由分子力来决定的，而且，不相似的物质有时呈现同样的形态，并不足为奇。不过关于生物，我们应该记住，每一种生物的形态都决定于无数的复杂关系，即，决定于变异，而引起变异的原因又如此复杂，以致无法进行追查，——决定于被保存下来的变异的性质，这等变异的性质又决定于自然条件，更加决定于彼此竞争的周围生物，——最后，决定于来自无数祖先的遗传（遗传本身就是一个变动无常的因素），而所有这些祖先的形态又是通过与上述同等复杂的关系来决定的。如果两种生物的改变了的后裔，彼此差别显著，那么，要说它们此后又趋同到如此密切的地步，以致它们的整个体制都几乎相等，看来那就是令人难以相信的了。关于上述猪族趋同的例子，按照纳图西亚斯的说法，它们来源于两个原始祖先的证据，依然明显地保存在它们的某些头骨之中。就像某些博物学者所假定的，如果人类诸种族来源于两个或两个以上的人种，而这等人种彼此差别之大就像或差不多像猩猩同大猩猩那样，那么几乎无可怀疑的是，某些骨在构造上的显著差异，依然还可以在现存人类中发现。

虽然现存人类诸种族在许多方面，如在肤色、毛发、头骨形状、身体比例等等方面有差别，但是，如果从他们的整个构造来考虑，可以看出他们在众多之点上还是彼此密切类似的。许多这等类似点的性质是如此不重要而且如此奇特，以致它们非常不可能是从

原本独特的物种或族那里分别获得的。对于最独特的人类种族之间的无数心理上的相似点，这一意见同样可以应用或者可以更加有力地应用。任何可以举出的三个种族之间的心理差别也不会像美洲土著居民、黑人和欧洲人之间的差别那样大，然而，我在贝格尔号舰上和那几位火地人一起生活的情形时常使我激动不已，许多微小的特性阐明他们的心理状态和我们的是多么相似；有一位纯种黑人也是如此，我一度和他过从甚密。

凡是读过泰勒先生和卢伯克爵士的有趣著作[①]的人，简直不能不对所有人类种族在嗜好、性情和习惯上的密切相似留下深刻印象。下述情形阐明了这一点：他们都喜欢跳舞、原始的音乐、演戏、绘画、文身或其他装饰自己的方法；他们还喜欢用姿势语言来达到相互理解，当由于同样情感而激动时，他们的面貌有同样的表情，而且发出同样无音节的呼喊。如果同猿的独特物种所做的不同表情和所发出不同叫声相对照，上述的相似性，勿宁说一致性，就引人注目了。有良好的证据可以证明，用弓射箭的技术并不是从任何共同的人类祖先传下来的，然而正如韦斯楚卜和奈尔逊所论述[②]的，从世界最遥远地方带来的以及在最远古时期制造的石箭头差不多都是一样的；这一事实只有根据各个不同种族具有相似的发明能力，即心理能力才可以得到解释。关于某些广泛流行的装饰品，如"之"字形饰物等等，并且关于各种不同的朴素信仰和风俗，如把死人葬于巨石建筑之下，考古学者们看到过同样的情

① 泰勒的《人类的早期历史》，1865 年；关于姿势语言，参阅 54 页。拉卜克的《史前时代》，第 2 版，1869 年。

② 《关于器具的相似形状》，见《人类学会纪要》，韦斯特罗普著。《斯堪的纳维亚的原始居民》(The Primitive Inhabitants of Scandinavia)，英译本，拉卜克爵士编，1868 年，104 页。

③ 韦斯特罗普，《关于上古遗物大石台》(On Cromlechs)，见《人种学会杂志》的"科学意见"栏，1869 年 6 月 2 日，3 页。

况③。我记得在南美曾看到①，在那里，就像在世界许多其他地方一样，人们一般选择巍峨的高山之顶，聚石成堆，以纪念某一异常事件，或埋葬他们的死者。

那么，如果博物学者们在两个或两个以上的家养族之间，或在亲缘接近的自然类型之间，观察到习性、嗜好以及性情上的许多细微之点是密切一致的话，那么，他们就会利用这一事实做为论据来说明它们来源于一个具有同样秉赋的共同祖先；因而所有它们都应分类在同一个物种之下。同样的论据可以更加有力地应用于人类种族。

由于若干人类种族之间在身体构造和心理能力上（我这里所说的不涉及相似的风俗）众多的、不重要的类似点不可能全都是分别获得的，所以这些类似点一定是从一个具有同样特性的祖先那里遗传而来的。这样，我们就能洞察人类在其逐步分布于地球整个表面之前的早期状态。人类分布于被海洋隔离得很远的各地之前，若干种族的性状无疑不会有任何大量的分歧；如果不是这样，我们就应在不同大陆上时常遇到同样的种族，但情况决非如此。卢伯克爵士在比较了世界各地未开化人现今所熟悉的技艺之后，详细列举了当人类最初离开其原始诞生地时所不能知道的那些技艺，因为，如果一旦学会这些技艺，他们就永远不会忘记②。于是他指出，“矛不过是小刀尖端的发展，棍棒不过是槌的延长，留下来的东西仅此两件而已”。然而他承认取火之术很可能早已发现，因为所有现存的种族均能为之，而且欧洲古代洞窟居民也通晓此术。制造原始独木舟或木筏的技术恐怕也早已为人所知，但是，在遥远的古代就有人类存在，那时许多地方的陆地高度和今天的很不相同，所以人类不借助于独木舟大概也能广为分布。拉卜克爵士进一步论述，

① 《贝格尔号航海研究日志》，46 页。
② 《史前时代》，1869 年，574 页。

“鉴于如此众多的现存种族不会计数到4以上”所以我们的最早期祖先很不可能“计数到10”。尽管如此,即使在那样早的时期,人类的智力和合群力也几乎不会极端劣于今天最低等未开化人所具有的这等能力;否则,原始人类就不能在生存斗争中获得如此显著的成功,他在早期的广泛散布证明了这一点。

根据某些语言之间的基本差别,有些语言学者推论当人类最初广为散布时,他还不是一种有语言的动物;但可以猜测那时所用的语言并不像今天的语言那样完善,而且还要助以姿势,然而在此后更高度发达的语言中并没有留下它的痕迹。如果没有语言的使用,不论它多么不完善,人类的智力能否升高到他早期支配地位所显示的那样水平,尚属疑问。

原始人类只掌握少数几样技艺,而且是最粗陋的,他的语言能力也极不完善,这样,他们是否值得叫作人类必须决定于我们所采用的定义如何。由某一类猿动物徐徐地进级到现存人类,在这一系列的类型中,要想在某一固定之点上使用“人类”这一术语大概是不可能的。但这是一桩重要性很小的事情。再者,所谓人类种族不论是否这样被命名,或者被分类为人种或亚种,几乎都是无关紧要的事,不过后一名称似乎比较恰如其分。最后,我们可以断言,当进化原理普遍被接受的时候,肯定不久以后就会如此,一元论者和多元论者之间的论争将会在不声不响和不知不觉中消失。

还有一个另外的问题不应忽略而不予以注意,即人类的各个亚种或族是否出自单独一对祖先,就像时常所假设的那样。关于我们的家养动物,小心地使单独一对配偶的变异着的后代进行交配,就能够容易地形成一个新族,甚至使具有某种新性状的单独一个个体的变异着的后代进行交配,也能如此;但是,大多数家养族的形成,并不是由于有意识地选择一对配偶而来的,而是由于以某种有用的或合乎人意的方式发生变异的许多个体被无意识地保存下来的缘故。如果在某一地方习惯上喜好强壮的、重型的马,而在另

一地方习惯上喜好轻型的、快速的马，那么我们可以肯定，在这两处地方并不需要挑选出一对马并使它们繁育，经过一定时间就会产生出两个区别分明的亚品种。许多家养族都是这样形成的，而且它们的形成方式同自然物种的形成方式是密切相似的。我们还知道，运到福克兰诸岛的马连续经过几代之后，就变得小而弱，而那些潘帕草原上的野生马则获得了较大的、接近原始形状的头；这种变化显然不是由于任何一对配偶而发生的，而是由于所有个体都处于相同的条件之下，也许还有返祖原理的助力。在这等场合中，新的亚品种并非起源于任何单独一对配，而是起源于以不同程度，但按同样一般方式发生变异的许多个体；我们可以断言，人类种族的产生也与此相似，其变异或为暴露在不同条件下的直接结果，或为某种类型的选择的间接结果。不过以后我们还要讨论后一问题。

关于人类种族的绝灭

许多人类种族或亚种族的部分绝灭或完全绝灭。称得上是史不绝书。洪堡在南美看见过一只鹦鹉，它是能够说出一个消亡部落的语言中一个单词的唯一活生物。在世界所有地方都曾发现过古代遗迹和石器，并且在现代居民中对此并没有保留任何传说，它们暗示着大量的绝灭。有些破碎的小部落作为以往种族的残余，依然生存在隔绝的、一般是山岳的地区。按照沙夫豪森的说法[①]，欧洲的古代种族"在等级上全都比最粗野的现存未开化人为低"；所以他们一定在某种程度上不同于现存的种族。布罗卡曾对莱埃季斯的出土遗骸做过描述，虽然这些遗骸不幸是属于单独一个家族，却还表明了一个种族具有低等特征(即猴类的)和高等特征的奇异结合。这个种族"完全不同于我们听到过的任何其他古代的和近代的

① 译文见《人类学评论》，1868年10月，431页。

种族。"[1] 所以它同比利时的第四纪洞穴种族也是有差别的。

人类能够长期忍耐那些看来极其不利于其生存的外界条件[2]。他曾长期生活在极北地区，没有木料可以制造独木舟或器具，仅以鲸油为燃料，并以溶雪为饮。在美洲的极南端。火地人没有衣服，没有任何可以称为茅舍的建筑以保护自己，但他们还是活下来了。南非的土著居民漫游于干旱的平原之上，那里充满了危险的野兽。人类能够顶得住喜马拉雅山脚下瘴疠的致命影响，还能顶得住热带非洲海岸流行的瘟疫。

绝灭主要是由部落与部落、种族与种族的竞争所引起的。各种抑制经常在起作用，——如周期发生的饥馑、流浪习性以及由此引起的婴儿死亡，哺乳的延长，战争、意外事故、疾病、淫乱、窃取妇女、杀婴，特别是生育力的降低，——各个未开化部落的人数因此而受到压缩。如果这等抑制中的任何一种增加其力量，那怕是微小的，也会使受到影响的部落倾向于减少人数；当两个邻接部落中的一个变得人数较少、力量较弱时，双方之间的争夺问题很快就会被战争、屠杀、吃人习俗、奴隶制以及吞并所解决。即使一个较弱的部落没有这样一扫而光，如果它的人数一旦开始减少，一般就要继续不断地减少，直至灭亡[3]。

当文明民族同野蛮人接触之后，斗争是短暂的，除非那里的严酷气候有助于土著种族。导致文明民族胜利的原因，有些是清楚而简单的，有些是复杂而暧昧不明的。我们可以知道，土地的耕种在许多方面都是决定未开化人命运的问题，因为他们不能或者不愿改变他们的习性。新的疾病和恶习在某些场合中被证明是有高度

---

① 《史前考古学国际会议报告书》，1868年，172—175页。再参阅布罗卡的文章，其译文见《人类学评论》，1868年10月，410页。

② 格兰德博士，《原始民族的消亡》(Ueber das Aussterben der Naturvölker)，1868年，82页。

③ 格兰德(同前书，12页)举出了一些事实以支持这一叙述

破坏性的；一种新疾病看来时常会造成很大的死亡，直到那些最易感受这种破坏影响的人逐渐被清除掉为止①；好酒贪杯的恶劣影响以及如此众多的未开化人的这种难改的强烈嗜好，亦复如此。还有一个更加不可思议的事实，即区别分明而彼此相隔的人民初次相遇好像会引起疾病的发生②。在温哥华岛密切注意过绝灭问题的斯波罗特先生相信，由于欧洲人到来而引起的生活习惯变化导致了严重的健康恶劣状况。他还十分强调一种显然是微小的原因，即，土著居民"被围绕他们的新生活弄得迷惑而迟钝了；他们失去努力的动机，又没有找到新动机以代之。"③

竞争诸民族的文明水平似乎是他们取得成功的最重要因素。几个世纪以前，欧洲害怕东方野蛮人的侵略，现在任何这种恐怖大概都是荒谬可笑的了。有一个更加奇妙的事实，像贝哥霍特所说的，往昔未开化人在古代文明民族之前并不像他们现今在近代文明民族之前那样地衰亡下去；他们倘真如此，古代道德学家大概要对此事加以深思，但是那个时期的任何作者都未曾悲痛地记载过野蛮人的覆灭④。在许多场合中，造成绝灭的最有力的原因似乎是生育力的降低和健康的恶劣，孩子们的健康恶劣尤其会如此，这等情况是由生活条件的变化所引起的，尽管新的生活条件可能对他们本身无害，也是如此。我非常感激豪沃思先生，他使我注意到这个问题，并向我提供了有关资料。我曾搜集到下述事例。

① 关于这种影响，参阅霍兰(H. Holland)的著作《医学札记和回忆录》(Medical-Notes and Reflections)，1839年，390页。

② 我搜集过许多有关这个问题的好例子(《贝格尔号航海研究日志》，435页)；再参阅格兰德的材料(同前书，8页)。波皮格(Poeppig)说"未开化人接受文明如饮毒药"。

③ 斯波罗特，《未开化人生活的景象及其研究》(Scenes and Studies of Savage Life)，1868年，284页。

④ 巴奇霍特，《医学与政治学》(Physics and Politics)，见《双周评论》，1868年4月1日，455页。

当塔司马尼亚最初被殖民时，粗略估计，有些人认为那里的土著居民为 7000 人，有的人认为是 20,000 人。他们的人数很快就大大减少了，这主要是由于同英国人进行战争，他们彼此也相互打仗。在全体殖民者进行了那次著名的所谓狩猎的大屠杀之后，当时向官厅自首的残余土著居民仅有 120 人[①]，这些人在 1832 年被运到弗林德斯岛。这个岛位于塔斯马尼亚和澳大利亚之间，40 英里长，12 至 18 英里宽：那里看来适于健康，而且运到那里的土人得到了良好待遇。尽管如此，他们的健康还是受到损害。到 1834 年，他们的成年男子为 47 人，成年妇女为 48 人，儿童 16 人，共计 111 人。到 1835 年，仅余下 100 人。由于他们的人数继续迅速地减少，而且由于他们自己认为如果在别处，死亡当不至如此之快，所以 1847 年又把他们迁移到位于塔斯马尼亚南部的蠔湾。那时他们有男子 14 人，妇女 22 人，儿童 10 人(1847 年 12 月 20 日)[②]。但是住地的变化并没有带来好处。疾病和死亡依然纠缠着他们，1864 年只有一个男子(1869 年死去)和三个年长的妇女活着。妇女的不孕比全部人都易患健康不良和死亡甚至是一个更加值得注意的事实。在蠔湾仅剩下九个妇女的时候，他们告诉邦威克先生说，他们之中只有二人生育过，而且这两个妇女一共只生过三个孩子！

关于这种异常事态的原因，斯托里博士述说，死亡是由试图使土著居民文明化引起的。“如果让他们自己像以往那样不受干涉地到处漫游，他们大概会养育更多的孩子，而且死亡率也会小些”。另一位对土著居民仔细进行过观察的戴维斯先生述说，“出生的少，而死亡的却极多。这在很大程度上可能是由于他们的生活和食物的变化；更重要的是由于他们从范迪门领地的大陆上被驱逐出来，

---

① 《塔斯马尼亚人的末日》(The last of Tasmanians)，邦威克(Bonwick)著，1870 年，这里的叙述均引自该书。

② 这是塔斯马尼亚长官厅尼森(Denisen)爵士的记载，《副总督生涯种种》(Varieties of Vice-Regal Life')，1870 年，第 1 卷，67 页。

而引起他们意气消沉"。

在澳洲两处大不相同的地方也曾观察到相似的事实。著名的探险家格雷戈里先生告诉邦威克先生说，在昆士兰，"黑人已经感到生殖的低落，并且已经显出衰亡的倾向。"有13个土著居民从沙克湾迁移到穆尔其逊河流域，其中12人在3个月之内都死于肺结核病①。

范东先生曾对新西兰的毛利人的减少详细进行过研究，他写过一篇令人钦佩的"报告书"，下面的叙述除了一个例外都引自这份"报告书"②。自1830年以后人口数量的减少已为每一位人士所承认，包括土著居民本身在内；而且这一减少仍在稳定地进行着。虽然迄今为止已经看到要想对土著居民进行一次实际的人口调查是不可能的，但许多地方的居民已对他们的人数进行过谨慎的估计。其结果似乎是可信的，表明1858年前的14年中人数减少了19.42%。受到这样调查的部落，有些相距100英里以上，其中有些在海岸，有些在内地；而且他们的生活手段和生活习惯在一定程度上都有所不同。据信在1858年人口总数为53,700人，在1872年，即在第二个14年期间，做过另一次人口调查，总数只有36,359人，表明减少了32,29%！③ 普通解释这一异常减少的原因为新疾病、妇女的淫乱、酗酒、战争等等，但范东详细阐明了这些原因不足之处以后，非常有根据地断定，这一减少主要决定于妇女的不生育以及婴儿特别高的死亡率(31,34页)。为了证明这一点，他指出，1844年成年人与未成年人之比为2.57:1；到1858年，成年人与未成年人之比仅为3.27:1。成年人的死亡率也是非常高的。他提出

① 关于这些事例，参阅邦威克的《塔斯马尼亚人的日常生活》(Daily Life of the Tasmanians)，1870年，90页；以及《塔斯马尼亚人的末日》，1870年，386页

② 《对新西兰土著居民的观察》(Observations on the Aboriginal Inhabitants of New Zealand)，政府出版，1873年，47页。

③ 《新西兰》("New Zealand")，肯尼迪(Alex. Kennedy)著，1873年，47页。

人口减少的又一个原因为男女人数的不相等；因为生下来的男比女多。关于后一点，其原因恐怕大不相同，我在后面一章还要谈到。范东先生把新西兰的人口减少和爱尔兰的人口增长加以对比之后，感到惊讶；两地气候并非很不相似，而且两地居民的现今习惯差不多是一样的。毛利人自己“认为他们的衰落在某种程度上是由于新的食物和衣着的引入以及伴随而来的习惯的变化”；当我们考虑到变化了的外界条件对能育性的影响时，可以知道他们的看法很可能是正确的。其人口的减少始于 1830 至 1840 年之间；范东先生指出，约在 1830 年，发明了在水中长期浸泡玉米使其发酵的精制技术，这证明了，当移住新西兰的欧洲人还很少时，土著居民的习惯就开始了变化。1835 年我访问群岛湾的时候，那里居民的衣服和食物已经发生了很大改变；他们种马铃薯、玉米以及其他农作物，并且用这些农产品交换英国的工业品和烟叶。

从帕特森主教传记[①] 中的许多记载可以明显看出，新赫布里底群岛[②]及其毗连岛屿上的美拉尼西亚人当被迁移到新西兰、诺福克岛以便对他们进行传教士的教育时，他们的健康大受损害而且大量死亡。

桑威奇群岛土著居民人口的减少有如新西兰的情形，也是众所周知的。根据最有才能的判断者的约略估计，当库克于 1779 年发现该群岛时，那里的人口大约为 300,000 人。按照 1823 年不严格的人口调查，那时的人口约为 142,050 人。1832 年以及此后数年，官方进行了精确的人口调查，但我所能得到的只是下列统计表。

① 《帕特森传记》(Life of J. C. Patteson)，扬格(C. M. Younge)著，1874 年，特别注意参阅第 1 卷，530 页。

② 位于大洋洲。——译注

年度	土著居民人口（1832 年和 1836 年的数字有少数外国人在内）	每年人口减少的百分率（假定调查是准时举行的，实际上调查的间隔时间并不固定）*
1832	130,313	
1836	108,579	4.46
1853	71,019	2.47
1860	67,084	0.81
1866	58,765	2.18
1872	51,531	2.17

※根据复算，这一栏的数字按顺序应为：4.17，2.03，0.79，2.07，2.05.——译注

从上表可以看出，从 1832 年至 1872 年这 40 年期间人口的减少竟不下于 68%①！大多数作者把这一情况归因于妇女的淫乱、以往血腥的战争、加给被征服部落的剧烈劳动，以及若干次起过极端破坏作用的新引入的疾病。毫无疑问，这些原因和其他这样的原因曾经是高度有效的，而且可以用来解释从 1832 年—1836 年人口锐减的情形；但其中最有力的一个原因却是能育性的降低。从 1835 到 1837 年美国海军的鲁申贝格尔医生曾经游历过这些岛屿，按照他的说法，在夏威夷的某一大岛，每 1134 个男子中仅有 25 人的家庭有三个孩子，在另一地方每 637 个男子中仅有 10 人的家庭有三个孩子。在 80 个已婚妇女中，仅有 39 人生过孩子，而

① 根据复算，应为 60.45%.——译注

且“官方报告指出，全岛每一对夫妇平均只有 0.5 个孩子”。这一平均值同蠓湾塔斯马尼亚人的几乎完全一样。贾维斯于 1843 年发表的自传中说道：“有三个孩子的家庭可以免去一切赋税，有三个以上的孩子赏以土地并可得到其他奖励”。由政府颁布的这一空前的法令，充分阐明了那里的种族已经变得多么不育。1839 年毕晓普牧师在夏威夷的《旁观者》杂志上写道，大量的儿童都夭折。斯特利主教告诉我说，现今的情况依然如此，在新西兰恰好也是这样。这种情形常被归因于妇女对儿童的照顾不周，但很可能是大部分由于儿童体质的先天衰弱，而这同他们双亲能育性的降低又有关系。再者，同新西兰情况相似的还有如下事实，即男婴远远超过女婴，1872 年的人口调查表明，一切年龄的男和女之比 31,650 人对 25,247 人，即每 100 名妇女对 125.36 名男子；而在所有文明的地方，女性却超过男性。妇女的淫乱无疑可以用来部分地解释其能育性的衰弱；但他们生活习惯的变化则是一个更加可能的原因，而且同时还可以解释死亡率的增大，特别是儿童死亡率的增大。1779 年库克、1794 年范库弗访问了夏威夷群岛，此后捕鲸船也常常来此访问。1819 年传教士到达，发现崇拜偶像在那里已被废除，而且国王完成了另外一些改革。在这一时期以后，土著居民的差不多一切生活习惯都迅速发生了变化，不久他们就成为“太平洋岛民中的最文明者”。向我提供资料的一位人士寇恩先生出生于该群岛，他说那里土著居民 50 年间发生的变化比英国人 1000 年间发生的变化还要大。根据斯特利主教给我的资料，那里比较贫穷的阶级食物方面的变化似乎并不很大，虽然许多新种类的水果已被引进，而且甘蔗已普遍食用。由于他们热心地仿效欧洲人，所以在早期他们就改变了服装的样式，而且饮酒普遍盛行。虽然这等变化看来无足轻重，但我根据所知道的动物情形，充分相信它们足可以降低土著居

民的能育性了①。

最后，麦克纳马拉先生②述说，在孟加拉湾东侧的安达曼群岛上的退化的低等居民“对气候的任何变化都显著敏感：事实上如果把他们迁移到海岛家乡之外，几乎肯定就要死亡，而且这同食物和外在影响并无关联。”他进一步述说，夏季极其炎热的尼泊尔山谷中的居民，还有印度各地的山岳部落，当在平原居住时常受痢疾和热病的为害；如果他们试图全年都在那里度过，就会死去。

由此我们知道，人类中一些比较野蛮的种族当遇到外界条件或生活习惯发生变化时，其健康就容易受到严重的危害，如果迁移到新的气候条件下，也会如此。仅仅是习惯的改变，看来对其本身并无害处，似乎也会产生这种相同的效果；而且在若干场合中，儿童特别容易受害。像麦克那马拉先生那样，往往有人说，人类能够泰然地抵抗多种多样的气候以及其他变化；但这只是对文明种族来说才是如此。处于原始状态的人类在这方面似乎像其亲缘关系最近的类人猿那样，差不多具有同样的敏感性，当类人猿离开其本土时，决不会活得很久。

由于条件变化而引起能育性的降低，如塔斯马尼亚人、毛利人、桑威奇群岛居民，显然还有澳大利亚土著居民的情形，比他们容易健康恶劣和死亡更为重要；因为，甚至是轻微程度的不育性，如果同那些可能抑制人口增长的其他原因结合起来，也会迟早导

---

① 以上记述，主要引自下列著作：贾维斯(Jarves)的《夏威夷群岛的历史》，1843年，400—407页。奇弗(Cheever)，《桑威奇群岛上的生活》(Life in the Sardwich Islands)，1851年，277页。邦威克引用鲁申贝格的材料，见《塔斯马尼亚人的末日》，1870年，378页。贝尔彻(E. Belcher)爵士引用毕晓普的材料，见《环球航海记》(Voyge Rourd the World)，1843年，第1卷，272页。历史人口调查的统计数字，系在尤曼斯(Youmans)博士的请求下，由寇恩先生慷慨提供的；在大多数情况下，我曾把尤曼斯的数字同上述各书的记载进行过比较，我没有用1850年统计，因为我发现两个数据相差太远。

② 《印度医学公报》(The Indian Medical Gazette)。

致绝灭。能育性的降低在某些场合中可能由妇女的淫乱(如塔希提人①晚近的情形)得到解释,但范东先生指出,这一解释对新西兰人来说并不太适用,对塔斯马尼亚人也是如此。

在上面引用的论文中,麦克纳马拉先生举出理由使我们相信,流行疟疾地区的居民容易不育;但这对上述几个事例不能应用。有些作者提出,海岛土著居民由于长期不断地近亲繁殖使能育性和健康都受到损害;但在上述场合中,不育性同欧洲人的到达如此密切符合,以致我们无法承认这种解释。今天我们也没有任何理由可以相信,人类对近亲繁殖的恶劣效果是高度敏感的,特别是新西兰的地域如此广阔,桑威奇群岛的位置如此变化多端,更不至如此。相反地,我们知道诺福克现在的居民差不多全是从堂兄弟姐妹或近亲,就像印度的图达人②和苏格兰的某些西方海岛居民那样;但他们的能育性似乎没有因此受到损害③。

根据从次级动物来类推,可以提出一个远为可能的观点。生殖系统对变化了的生活条件的极度敏感是能够阐明的(我们还不知道为什么);这种敏感性导致了有利的或有害的结果。关于这个问题,我搜集了大量事实,见《动物和植物在家养下的变异》第 2 卷,第 18 章,在这里我只能举出极其简略的提要;凡是对这个问题有兴趣的人可以参考上述著作。很轻微的变化可以使大多数或所有生物增进健康并提高其活力和能育性,而另外的变化据知可以使大量动物成为不育的。最为大家所熟知的一个例子是,印度的驯象不生育;但阿瓦④的象就常常生育,在那里,允许雌象在某种范围

---

① 南太平洋塔希提岛上的土著居民。——译注

② 尼尔吉里(Nilgiri)山中的牧民。——译注

③ 关于诺福克岛民的密切亲缘关系,参阅丹尼森(Denison)爵士的《副总督生涯种种》,第 1 卷,1870 年,410 页。关于图达人,参阅马歇尔(Marshall)上校的著作,1873 年,110 页。关于苏格兰西方诸岛,米切尔(Mitchell)博士,《爱丁堡医学杂志》(Edinburgh Medical Journal),1865 年 3—6 月。

④ 缅甸中部的古城。——译注

内漫游于森林之中,这样它们就被置于更加自然的条件之下了。如一种美洲猴的雄者和雌者在其原产地多年来都养在一起,但它们很少或者从来不生育,这是一个更加适当的事例,因为美洲猴同人类的关系很近。值得注意的是,条件多么轻微的一种变化常常会致使被捕获的野生动物发生不育性;而更加奇怪的是,所有我们的家养动物都比它们在自然状况下更为能育;其中有些家养动物还能抵抗最不自然的外界条件,但其能育性并不降低[①]。动物的某些类群远比另外一些类群更加容易受到拘禁的影响;而同一类群的所有物种一般者是按照同一方式受到影响。但是,有时只是一个类群中的单独一个物种成为不育的,而另外一些物种并不如此;另一方面,可能只有单独一个物种保持其能育性,而大多其他物种都不生育。某些物种的雄者和雌者在原产地如果受到拘禁,或者,如果不允许它们完全自由生活,而只是有限地自由生活,那么它们从不交配;处于这样环境条件下的其他物种虽然常常交配,但从不产生后代;还有一些物种产生后代,但比在自然状况下产生的为少;同人类的上述事例联系起来看,注意儿童易于衰弱多病或畸形以及早期夭亡是重要的

鉴于生殖系统对生活条件变化的敏感是多么普遍的一项法则,而且这一法则也适用于人类的最近亲属四手类动物,所以我简直不能怀疑,同样它也可以应用于原始状态的人类。因此,如果任何种族的未开化人的生活习性突然发生变化,他们就会或多或少地变得不育,而且他们孩子的健康也要受到损害,这同印度的象和猎豹[②]、美洲的许多种类的猴以及所有种类的多数动物当被移出其自然条件时所发生的情况是一样的,而且其原因也是相同的。

---

① 关于这个问题的证据,参阅《动物和植物在家养下的变异》,第2卷,111页。
② 学名 *Cynaelurus iubatus* schreb.,印度人驯养之,使其猎羚羊和鹿等。——译注

我们可以知道，长期生活在海岛上的、而且一定是长期处于差不多一致条件下的土著居民为什么特别容易感受生活习性任何变化的影响；事实似乎就是如此。文明种族在抵抗所有种类的变化方面肯定远比未开化人为优；关于这一点，他们同家养动物相类似，因为后者的健康有时虽然受到损害(例如欧洲狗在印度的情况)，但他们极少是不育的，不过有少数这样的事例曾被记载过①。文明种族和家养动物没有受到这种影响，很可能是由于他们比大多数野生动物曾在更大范围内受到多种多样的、即变化着的外界条件的支配、因而就多少更习惯于这样条件；还由于他们以往曾到处迁徙或到处被运送；而且还由于不同家族或不同亚种族之间曾相互杂交。土著居民同文明种族只要进行一次杂交，前者似乎就可以立即免除由条件变化所引起的恶劣结果。例如，塔希提人和英国人的杂交后代当移居在皮特凯恩岛②后，他们增加得如此之快，以致该岛很快就人满为患了；1856 年 6 月他们又被移到诺福克岛. 那时他们的人数中已婚者为 60 人，儿童 134 人，共计 194 人。同样地，他们在那里也增加得非常之快，虽然 1859 年有 16 人返归皮特凯恩岛，但到 1868 年正月仍增加到 300 人，男女正好各半。这个事例同塔斯马尼亚人的情况是多么明显的一个对照；诺福克岛民仅在 12 年半期间内由 194 人增至 300 人；而塔斯马尼亚人在 15 年期间内由 120 人减至 46 人，其中只有 10 个儿童③。

再者，根据 1866 年至 1872 年这一期间的人口调查，桑威奇群岛的纯种土著居民减少了 8081 人，而那些被认为健康的混血儿却

① 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，16 页。

② 位于大洋洲。——译注

③ 这些数字引自《受到宽大的叛变者》(The Mutineers of the Bounty)，贝尔契夫人著，以及英国下院 1863 年 5 月 29 日命令出版的《皮特凯恩岛》(*Pitcairn Island*)。关于桑威奇群岛的下列叙述，引自《檀香山公报》(*Honolulu Gazette*)以及寇恩(Coan)先生的著作。

增加了 847 人；但我不清楚后一数字是否包括混血儿的后代，或者仅仅是第一代混血儿。

我这里所举的例子全是关于土著居民由于文明人移入而遇到新条件的情况。如果未开化人受到某种原因所迫，例如征服部落的侵入，背井离乡以及改变习惯，大概也会引起不生育和不健康。有一个有趣的情况：野生动物变为家养的主要抑制，在于它们最初被捕获时的自由繁育能力，而野蛮人初与文明人接触，能否形成一个文明种族而生存下来的主要抑制，也是一样的，即在于由生活条件变化而引起的不育性。

最后，人类诸种族的逐渐减少而终至绝灭，虽然是一个由许多原因所决定的高度复杂问题，同时这等原因又随时随地有所不同；但这个问题同高等动物之一，例如化石马的绝灭问题还是一样的，马在南美消亡之后不久，就在同一地区内被无数的西班牙马群取而代之了。新西兰人似乎已经意识到这种相似现象，因为他把自己的将来命运比做当地的鼠，现在后者差不多已被欧洲鼠消灭了。如果我们要确定其真实原因及其作用的方式，在我们想象中这虽然是困难的，而且的确是困难的，但对我们的推理来说，并不应该这样困难，只要我们切记各个物种和各个种族的增加会不断地受到种种方面的抑制就可以了；所以，如果增添了任何新的抑制。哪怕是一种轻微的抑制，这个种族的数量肯定也会减少；数量的减少迟早要导致绝灭；在大多数场合中，其结局将由征服部落的侵入而迅速决定之。

论人类种族的形成

在某些场合中，独特种族的杂交曾导致新种族的形成。欧洲人和印度人都属于雅利安人血统，所用的语言基本一致，但他们的面貌却大不相同，而欧洲人和犹太人的面貌虽差别不大，但后者却为

闪米特人血统，并且使用一种完全不同的语言，布罗加[①]对这一奇特事实提出如下解释：某些雅利安人的分支在其广泛散布的期间，曾同土著部落的人大量进行了杂交。当两个种族密切接触而进行杂交后，其最初的结果乃是一种异质的混合：这样，亨特先生在描述一个印度山地部落桑塔利人时说道："由黑色的、矮胖的山地部落到具有智慧之额、平静之眼和高而狭之头的高个子橄榄色的婆罗门[②]"可以查出成千上百的级进；所以在法庭上有必要询问证人，他是桑塔利人还是印度人[③]。一个异质的种族，如波利尼西亚群岛上的一些居民，系由两个独特种族形成的，只留下少数或者没有留下纯种的成员，他们是否会成为同质的，还没有直接的证据足以说明。但是，关于我们的家养动物，经过少数几代细心选择的过程[④]，肯定能够形成一个固定的和一致的杂交种，我们于是可以推论，一个异质的混血种族在长期繁衍中的自由杂交大概可以代替选择的作用，而胜过任何返祖的倾向；所以，杂交种族虽然没有同等程度的具有双亲种族的性状，它最终还会成为同质的。

关于人类种族之间的差异，皮肤的颜色最惹人注目而且最为显著. 以往认为，这种差异可以由长期暴露于不同气候中得到解释；但帕拉斯阐明，这种解释是站不住脚的，以后差不多所有人类学者都追随他的主张[⑤]。这一观点之所以遭到驳斥，主要因为各种不同皮肤颜色的种族一定长期居住在他们现今的故乡，而他们的分布同气候的相应差异并不符合。根据最优秀的权威意见[⑥]，我们

① 《人类学》(On Anthropology)，译文载于《人类学评论》，1868 年 1 月，38 页。

② 婆罗门为印度封建种姓制度的第一种姓，僧侣。——译注

③ 《孟加拉农村年报》(*The Annals of Rural Bengal*)，1868 年，134 页。

④ 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，95 页。

⑤ 帕拉斯(Pallas)，《圣彼得堡科学院院报》(Act. Acad. st. Peterburg)，1870 年，第 2 部，69 页。

⑥ 安德鲁·史密斯爵士(Sir Andrews Smith)，诺克斯引用，见《人类的种族》，1850 年，473 页。

听说有些荷兰人的家族在南非居住了300年之后，其皮肤颜色丝毫也没有发生改变，对这等事例似乎多少应该给予一点重视。属于这方面的论据还有一个，即世界各地的吉卜赛人和犹太人的面貌都是一致的，不过犹太人面貌的一致性多少被夸大了①。一种很潮湿的或很干燥的空气曾被假定比单纯的炎热对于改变皮肤的颜色更有影响；但多比尼在南美和利文斯顿在非洲关于潮湿和干燥所得出的结论正好相反，对这个问题的任何结论都必须持怀疑的态度②。

我在别处所举的各种事实，证明皮肤和毛发的颜色时常同完全避免某些植物毒害的作用以及某些寄生虫的侵袭以一种可惊的方式彼此相关。由此我想到，黑人和其他黑皮肤的种族也许由于较黑的个体在一长列的世代中逃脱了他们家乡瘴疠的致命影响而获得了黑的色泽。

以后我发现韦尔斯博士③长期以来就持有同样见解。黄热病在热带美洲是一种毁灭性的病④，而黑人、甚至黑白混血儿几乎可以完全避免这种病，这种情形早为世人所知。他们在很大程度上还能避免致命的疟疾，这种病流行于非洲沿岸至少达2600英里之遥，白人殖民者每年有1/5死于此病，还有1/5因患此病被送回家乡⑤。黑人的这种免疫性似乎部分是先天的，这决定于某种未知的

① 参阅夸垂费什关于这个问题的著作，见《科学报告评论》，1868年10月17日，731页。

② 利文斯顿，《南非旅行调查记》(Travels and Researches in S. Africa)，1857年，338，339页。多比尼，戈得隆在《论物种》中引用，第2卷，266页。

③ 参阅1813年在皇家学会宣读的一篇论文，见1818年出版的他的《论文集》。关于韦尔斯博士的论点，我曾在《物种起源》的"历史概述"中有所说明。关于肤色同体质特性的相关，我曾在《动物和植物在家养下的变异》(第2卷，227，335页)举过种种事例。

④ 例如，参阅诺特(Nott)和格利登(Gliddon)合著的《人类的模式》，68页。

⑤ 塔洛克(Tulloch)少校1840年4月20日在统计学会上宣读的一篇论文，载于《科学协会会刊》(*Anthenaum*)1840年，353页。

体质特性，部分乃是水土适应的结果。普歇说[①]，由埃及总督借来参加墨西哥战争的黑人团队是在苏丹附近召募的，他们同那些原本来自非洲各地并且习惯于西印度群岛的黑人，差不多同样能够避免黄热病。有许多事例表明，黑人在较寒冷的气候下居住一些时候之后[②]，就变得多少容易感染热带的热病，这一情况阐明了水土适应是有一定作用的。白人曾经久居其下的气候性质同样对他们也有某种影响；因为，1837 年在德梅拉拉[③]流行可怕的黄热病期间，布莱尔博士发现，移民的死亡率同其家乡的纬度是成比例的。黑人的免疫性作为水土适应的结果而言，这意味着需要非常悠久的时间；因为，热带美洲的土著居民自远古以来就在那里居住，还不能避免黄热病；特里斯特拉姆牧师说，在北非有些地方，虽然黑人能够安然无恙地住，而土著居民却要被迫年年从那里离去。

黑人的免疫性同其皮肤颜色的任何程度的相关不过是一种推测：这种免疫性也许同其血液、神经系统或其他组织的某种差异相关。尽管如此，根据上述事实，根据面色同肺病之间显然存在的某种关联，这种推测在我看来并非是不近理的。因此，我曾试图确定

① 《人类种族的多源论》(The Plurality of the Human Race)，英译本，1864 年，SU 页。

② 卡特勒法热，《人种的 致性》，1861 年，205 页。魏采，《人类学概论》，英译本，第 1 卷，1863 年，124 页。利文斯顿在他的《旅行记》中举过同样事例。

③ 在圭亚那。——译注

这种推测究竟有多大可靠性，但没有获得很大成果①。已故的丹尼尔博士曾长期在非洲西海岸居住，他告诉我说，他不相信有任何这种关联。他本身的皮肤异常之白，却惊人地经受了那里的气候。当他在少年来到非洲西海岸的时候，一位老年有经验的黑人酋长根据他的面貌预言他能如此。安提瓜②的尼科尔森博士研究了这个问题之后给我写信说，暗色皮肤的欧洲人避免黄热病的，比浅色皮肤的欧洲人为多。哈里斯先生完全否认深色毛发的欧洲人比其他人能够更好地经受炎热的气候；相反地，经验告诉他，当挑选在非洲海岸服务的人员时，要找那些红发的人③。有一种假说认为黑色皮肤的产生，是由于日益变黑的个体曾经长期在引起发热的瘴疠中更好地生存下来的原故，然而仅就以上那些迹象而言，这种假说似乎就没有什么根据了。

---

① 1862 年我曾得到陆军军医总监的许可，向海外驻军的医生发出空白表格，并附如下意见，但未获得答覆，"有几个被记载下来的十分明显的事例表明，在我们的家养动物中，皮肤附属物的颜色同其体质有一定关联；如所周知，人类种族的肤色同其住地的气候也有某种有限度的关联；下述调查似乎值得注意，即，欧洲人的毛发颜色同他们感染热带地方疾病之间是否有任何关联。如果各军队的医生驻在对健康有害的热带地区，请在发病时先数一下军队中有多少人的毛发是浓色的，多少人是淡色的，多少人是中间色或不确定的颜色的；如果同一位医生对疟疾、黄热病、痢疾患者，也做出相似的统计，那么当表上有3 千来个这样事例之后，很快就可以看明，在毛发颜色同感染热带病的体质之间是否存在着任何关联。也许不会发现这种关联，但这样调查还是值得一做的。倘获得正的结果，则这一结果在选用人员担任任何特殊任务时是有一定实际应用价值的。在理论上，这一结果大概也是重要的，因为它指明了自从远古以来就在对健康有害的热带气候下居住的一个人类种族，在悠久的连续世代中由于深色毛发和深色皮肤的个体更好地被保存下来而成为深色的一个途径。"

② 位于西印度群岛。——译注

③ 《人类学评论》，1866 年 1 月，21 页。夏普(Sharpe)博士也说，"在印度，生有淡色毛发和红润面色的人比生有深色毛发和青白面色的人感染热带地方病者为少；据我所知，这一意见似乎有充分的根据"(《人类是一种特殊创造物》，1873 年，118 页)。另一方面，塞拉利昂的赫德尔(Heddle)先生则持有直接相反的观点，"他手下的职员死于西非海岸气候者比其他人为多"(《非洲随笔》，African Sketch Book，里德著，第 2 卷，522 页)，伯顿上尉持有同样见解。

夏普博士述说[①]，热带的太阳可以把白人的皮肤晒伤而起水疱，但对黑人的皮肤却一点也不损害；他又说，这并非由于个体的习性所致，因为6个月或8个月的黑人小孩常常被裸体抱出，并不受影响。一位医务人员使我确信，几年之前每到夏季，他的双手就出现淡褐色的斑块，同雀斑相似但较大，一到冬季即行消失，这些斑块决不受日灼的影响，而其皮肤的白色部分有几次却受到严重的日灼而起水疱。在次级动物中，覆被白毛的皮肤部分和其他部分对太阳作用的反应也有一种体质差异[②]。皮肤不被这样灼伤对说明人类通过自然选择逐渐获得暗色是否具有足够的重要性，我还不能做出判断。果真如此，我们就应假定热带美洲的土著居民生活在那里的时间远比黑人在非洲生活的时间或巴布亚人在马来群岛南部生活的时间为短，正如浅色皮肤的印度人居住在印度的时间比这个半岛中部和南部的深色皮肤的土著居民居住在那里的时间为短。

以我们现在的知识来看，虽然还不能解释人类种族肤色的差异是由于因此获得任何利益，或是由于气候的直接作用所致；但我们千万不要对后一种作用完全加以漠视，因为有充足的理由可以相信某些遗传的效果可以由此产生[③]。

我们在本书第二章中已经看到，生活条件以一种直接的方式影响身体构造的发育，而这种效果是遗传的。这样，正如众所公认的，在美国，欧洲殖民者的面貌发生了轻微的、但异常迅速的变化。

---

① 《人类是一种特殊的创造物》(Man a Special Creation)，1873年，119页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，336、337页。

③ 例如，参阅卡特勒法热有关在阿比西尼亚和阿拉伯居住效果的记述（《科学报告评论》，1868年10月，724页）以及其他相似的事例。罗勒(Rolle)博士说（《人类的起源》，Der Mensch Seine Abstammung，1865年，99页），根据汉尼柯夫(Khanikof)的权威材料，大多数德国人的家族在佐治亚(Georgia)定居两代之后，头发和眼睛将会变为黑色。福布斯(Forbes)先生告诉我说，安第斯山的基切亚人(Quichuas)按照彼等所住山谷的位置，其肤色变异很大。

他们的体部和四肢都变长了；我听伯尼斯上校说，在晚近的美国战争期间，提供了有关这一事实的良好证据，即德国军队穿上为美国市场缝制的现成服装时，样子显得滑稽可笑，这等服装的各种尺寸对德国人都太长了。还有大量的证据可以阐明，美国南部诸州的第三代家内奴隶在面貌上同田间奴隶已有显著不同①。

然而，如果注意看一看分布于全世界的人类种族，我们就一定会推论他们的特性差异不能由不同生活条件的直接作用得到解释，即使受到这种作用的时间非常悠久，也是如此。爱斯基摩人完全以动物食品为生，他们穿着厚皮衣，暴露在酷寒和长期黑暗之中；中国南方的居民完全以植物食品为生，几乎裸体，暴露在炎热和阳光耀眼的气候之中，但二者之间并没有任何极度的差异。不穿衣服的火地人以荒凉海岸的水产品为生；巴西的波托鸠斗人②漫游于腹地的炎热森林之中，主要以植物性食品为生；然而这等部族如此密切相似，以致有些巴西人误把"贝格尔舰"上的火地人当作波托鸠斗人。再者，波托鸠斗人以及热带美洲的其他居民同大西洋彼岸的黑人完全不同，但他们暴露在差不多相似的气候之下，并且遵循几乎一样的生活习惯。

人类种族的差异也不能由身体各部分的用与不用的遗传效果得到解释，即便能如此，也只能起到十分轻微的作用。惯常在独木舟生活的人们，腿多少有点短；居住在高原地区的人们，胸部可能增大；不断使用某些感觉器官的人们，容纳这等器官的腔可能多少有些增大，因而他们的容貌也会稍有改变。关于诸文明民族，颚部的缩小是由于减少使用——为了表达不同的感情，惯常运转不同的肌肉——脑的增大是由于智力活动的增强——当同未开化人比

① 哈伦(Harlan)，《医学研究》(*Medical Researches*)，532 页。卡特勒法热(《人种的一致性》，1861 年，128 页)曾就这个问题搜集了重大证据。

② 巴西的印第安人，他们在下嘴唇穿装一木塞子，叫作"botoque"，因是得名。——译注

较时,所有这些都对文明民族的一般面貌产生了相当的影响[①]。身材增大,而脑的大小不相应增加,可能使某些种族的头骨加长,而成为长头型。

最后,所知甚少的相关发育原理有时也会发生作用,如肌肉的非常发达同眶上脊的强烈突出的相关就是如此。皮肤颜色同毛发颜色显然相关,如北美曼丹人[②]的毛发组织同其颜色就是相关的[③]。皮肤颜色同它发出的气味同样也有一定的关系。关于绵羊品种,一定面积上的羊毛数量同分泌孔的数量有关联[④]。如果我们可以根据家养动物进行类推的话,则人类构造的许多变异大概也在相关发育这一原理的支配之下。

现在我们已经看到,人类外部特征的差异不能由生活条件的直接作用,也不能由身体诸部分的连续使用,同时还不能由相关原理得到令人满意的解释。所以这就引导我们去追问,人类显著容易发生的轻微个体差异会不会在一长列的世代中通过自然选择而被保存下来并有所扩大。但在这里我们立刻会遇到这样的障碍,即只有有利的变异才能这样被保存下来;就我们所能判断的来说,虽然对于这一问题的判断往往容易陷于错误,人类种族之间的差异对他并没有任何直接的或特别的用处。当然,智慧的、道德的或社会的能力一定不在此论之内。人类种族之间外在差异的巨大变异性,同样地表明了它们并不具有多大重要性;如果是重要的,它们很久

① 参阅沙夫豪森的著述,其译文见《人类学评论》,1868年10月,429页。

② 赛奥恩印第安人(Siouan Indians)的一个著名部落,在北达科他(Dakota)州,1837年由于天花的流行,几遭灭种。——译注

③ 凯特林(Catlin)说(《北美的印第安人》,第3版,1842年,第1卷,49页),曼丹人(Mandans)的整个部落,10个人或12个人中就有一个人的头发是明亮的、银灰色的,而且这是遗传的,一切年龄的男女都是如此。现在,这种头发之粗硬有如马鬃,而其他颜色的头发还是细而软的。

④ 关于皮肤的气味,参阅戈德隆的《论物种》(Sur l' Espèce),第2卷,217页。关于皮肤上的分泌孔,参阅威尔肯斯的《家畜饲养技术的任务》(Die Aufgaben der Landwirth. Zootechnik),1869年,7页。

以前或者被固定而保存下来，或者被消除掉。在这方面，人类同那些被博物学者们称为变化多端的、即多态的类型相类似，这等类型极其容易变异，这似乎是由于这等变异具有无关紧要的性质，而且由于它们因此逃避了自然选择的作用。

在我们解释人类种族之间的差异的所有试图中，遇到了上述这样多的阻碍；但还剩下一个重要的力量即性选择，看来曾对人类而且也对许多其他动物发生过强有力的作用。我的意思并非断言根据性选择可以解释人类种族之间的一切差异。还留有不可解释的一点，由于我们对此的无知，我们只能说，因为一些个体生下来，比如，就具有稍微圆一些或狭一些的头以及稍微长一些或短一些的鼻子，所以，如果诱发这等轻微差异的未知力量比较经常不断地发生作用，它们就会变得固定而一致。在本书第二章提到这等变异时，是把它们纳入暂时的那一类的，由于还缺少较好的术语，常常把它们叫作自发性的。我也并非妄说性选择的效果能够以科学的正确性被表示出来；但可以阐明，看来曾对无数动物发生过强有力作用的这种力量，如果没有使人类改变，那么这就是一个无法解释的事实了。进一步可以阐明，人类种族之间的差异，如肤色、毛发、面型等等，预料是处于性选择影响之下的一类差异。但是，为了恰当地处理这个问题，我发现有必要对整个动物界加以回顾。因此，我在本书的第二部分对此进行讨论。最后，我还要回到人类上来，在努力阐明人类通过性选择发生了怎样程度的改变之后，再对第一部分的各章做一个简短的提要。

附录 人类和猿类的脑部在构造和发育上的异同

英国皇家学会会员 赫胥黎教授著

关于人类和猿类脑部构造的差异性质和差异程度，早在15年前已发生了争论，直到现在还没有停止，虽然现在所争论的主要问

题同以往已经完全不同了。最初有人一再异常顽固地断言，一切猿类的脑，甚至最高等猿类的脑，都和人类的脑有所不同，因其缺少诸如大脑半球的后叶以及这等后叶中所包含的侧室后角和小海马体等那样的显著构造，而这些构造在人类中都是非常明显存在的。

问题中的这三种构造在猿脑中发育之良好，同人类无异，或者说甚至更好；而且具有良好发育的这三部分乃是一切灵长类的特征（如果狐猴类除外），这一真实情况的基础之稳固有如比较解剖学中的任何命题。再者，一长系列的解剖学家，凡是近年来特别注意到人类和高等猿类大脑半球表面上复杂的脑沟和脑回的排列者，无不承认它们在人类和猿类中的配置型式都是完全一样的。黑猩猩脑的每一个主要脑沟和脑回都明显地代表着人脑的这等部分，所以应用于人脑的专门术语完全可以应用于猿脑。关于这一点，已没有任何不同的意见了。数年前比肖夫教授曾就人类和猿类的脑旋圈发表过一篇论文①；我的这位博学同事的目的肯定不在于降低猿类和人类关于这方面的差异价值，所以我愿引述该文如下：

"猿类尤其是猩猩、黑猩猩和大猩猩在其体制上同人类很接近，比同任何其他动物都更加接近得多，这是众所周知的一个事实，已无所争论。单以体制的观点来看事物，大概没有人再对林奈的观点进行争论，即人类仅仅作为一个特殊的物种，也应被置于哺乳动物以及猿类之首。人类和猿类的一切器官表明了它们的亲缘关系如此之近，以致为了证实它们之间确有差异存在，还需要进行极精确的解剖研究。对于脑部也要如此。人类、猩猩、黑猩猩以及大猩猩的脑尽管有非常重要的差异，但彼此还很接近"。

① 《关于人类的大部分脑旋圈》(Die Grosshirn-Windungen des Menschen)《巴伐利亚学院论文集》(*Abhandlungen der K. Bayerischen Akademie*)，第10卷，1868年。

至于猿脑和人脑在基本性状上的相似已无争论余地了；甚至黑猩猩、猩猩和人类的大脑半球上脑沟和脑回的排列细节也表现了惊人的密切相似性，对此亦无任何争论的余地。高等猿类的脑和人脑之间在差异性质和差异程度上也不存在任何严重的问题。众所共认，人类的大脑半球绝对地和相对地大于猩猩和黑猩猩的这一部分；其前叶由于眶脊向上隆起，因而凹入较少；人类的脑回和脑沟的配置通常都对称较差，并且呈现了较大数量的次级褶。而且，众所共认，人类的颞颥后头裂、即“外垂直”裂通常不甚显著，而这是猿脑的一个强烈显著的特征。但这等差异显然并不构成人脑和猿脑之间的明确界限。关于葛拉条雷所谓的外垂直裂，例如人脑的，特纳教授有如下记述①：

“在一些人脑中，它简单地表现为大脑半球边缘的一种齿痕，但在另外一些人脑中，它却伸长到一定距离，多少横向外出。我曾见到，它在一只女脑右半球上向外逾出二英寸以上；在另一个标本上，也是右半球，它向外逾出十分之四英寸，然后向下延伸，直达半球外表面的较低边缘。在大多数四手类动物中，这种脑裂沟是有显著特征的，相比之下，大部人脑的这种裂沟就不那样完全明确了，其所以如此，乃是由于人脑具有某种表面的、十分显著的次级旋圈，以沟通诸裂沟，并把颅顶叶和后头叶连接在一起了。这等第一级的起沟通作用的脑回位置同纵向沟裂愈近，则颅顶后头的外在沟裂就愈短”。

因此，葛拉条雷所谓的外垂直裂的消失，并不是人脑的一种固定特性。另一方面，它的充分发育也不是高等猿类脑的一种固定特性。因为，在黑猩猩脑的这一侧或那一侧外垂直脑回由于起沟通作用的脑旋圈而或多或少强烈消失的情况，已由罗尔斯顿教授、马歇

---

① 《人类大脑旋圈局部解剖学》(Convolutions of the Human Cerebrum Topographically Considered)，1866 年，12 页。

尔先生、布洛加以及特纳教授一再予以记载。特纳教授在一篇有关这个问题的专门论文中写道①：

“葛拉条雷曾试图形成一种概念，把第一级起连接作用的脑旋圈的完全缺如以及次级脑旋圈的隐蔽作为黑猩猩脑的基本特征，但刚才描述的这种动物脑的三个标本证明了这一概念决不能普遍应用。只有一个标本的脑在这等特点上符合葛拉条雷所表明的法则。关于起沟通作用的上部脑旋圈，我以为它是存在于一个脑半球之上的，至少迄今为人所绘出的或所描述的多数黑猩猩脑是如此。起沟通作用次级脑旋圈的表面位置显然较不常见，我相信，到目前为止只见于这份报告中所记载的A脑。两个脑半球上的旋圈排列是不对称的，以往的观察家们对此已有所描述，在这些标本中也得到了清楚的图示。”

颞颥后头脑沟或外垂直脑沟的存在，即便说是高等猿类和人类之间的一个区别标志，但阔鼻猴类脑的构造使这种作为区别的性状的价值很可怀疑了。事实上，尽管颞颥后头脑沟为狭鼻猴类、即旧世界猴类的最固定的一种性状，但在新世界猴类中，它的发育从来不很强烈；在较小的阔鼻猴类中根本没有这种性状；在僧面猴中它的发育是残迹的②；在蛛猴中它已经被起沟通作用的脑旋圈或多或少地所消除。

在单独一个类群范围内如此容易变异的一种性状不会有任何重大的分类价值。

已经进一步证实，人脑两侧旋圈的不对称程度有很大个体变异；而且在经过检查的布什门族的那些个体中，其两半球上的脑回

① 《特别关于黑猩猩的起沟通作用的脑旋圈的记载》(Notes more especially on the bridging convolutions in the Brain of the Chimpanzee)，见《爱丁堡皇家学会会报》，1865—1866年。

② 弗劳尔，《僧面猴的解剖》(On the Anatomy of *Pithecia Monachus*)，见《动物学会会报》，1862年。

和脑沟远不如欧洲人的复杂，但比他们的对称，然而，在黑猩猩的一些个体中，脑回和脑沟的复杂性和不对称性却是值得注意的。布洛加所绘制的一只幼小雄猩猩的脑，其情况尤其如此（《灵长目》，L'ordre des Primates，165 页，11 图）。

再者，就脑的绝对体积问题来说，已经证明最大的和最小的健康人脑之间的差异，比最小的健康人脑同最大的黑猩猩脑或猩猩脑之间的差异为大。

还有一种情况使猩猩脑和黑猩猩脑同人脑相类似，而同低等猿类的脑有所区别，这就是前者具有两个乳头体——而犬猿这一类只有一个。

鉴于这等事实，在这 1874 年我毫不踌躇地重复并坚持 1863 年我提出的主张[①]：

"就脑部构造来说，显然，人类同黑猩猩脑或猩猩之间的差异，甚至小于后者同猴类之间的差异，而且，黑猩猩脑同人脑之间的差异，如和黑猩猩脑同狐猴脑之间的差异相比，也是微不足道的"。

在我以前引用的那篇论文里，比肖夫教授并不否认这一叙述的第二部分，但第一，他文不对题地说，如果一个猩猩脑和一个狐猴脑很不相同，那是毫不足怪的；第二，他继续断言，"如果我们连续地以人脑同猩猩脑相比较，以猩猩脑同黑猩猩脑相比较，以黑猩猩脑同大猩猩脑相比较，以次及于长臂猿、天狗猴、獼猴、长尾猴、狒狒、卷尾猴、绢毛猴、狐猴、懒猴和狨，我们在脑旋圈发育程度上所看到的间隙并不比人脑同猩猩脑或黑猩猩脑之间的间隙更大，甚至相等。"

对此我回答如下：第一，不论这一主张的真伪如何，都同《人类在自然界中的位置》一书所提出的主张毫无关系，该书所讨论的并非仅仅是脑旋圈的发育，而是脑的整个构造。如果比肖夫教授不厌

① 《人类在自然界中的位置》，1862 年，102 页。

其烦地阅读一下他所批评的该书第 96 页，实际上他将会看到下文："值得注意的一个情况是，就我们现有知识所能达到的来说，在猿猴类脑的一系列类型中存在着一种真正的构造上的间隙，而这种间隙并不存在于人类和类人猿之间，而是存在于较低等的和最低等的猿猴类之间，换句话说，即存在于旧世界的和新世界的猿类、猴类和狐猴类之间。每一种已经被检查过的狐猴的小脑实际上都是可以部分地从上面看得见的；它的后叶及其所包含的后角和小海马体或多或少都是残迹的。相反地。每一种狨、美洲猴、旧世界猴、狒狒或类人猿的小脑在其后方为大脑叶所遮蔽，都是完全隐匿不露的，并且有一个大形后角以及一个十分发育的小海马体。"

这一叙述是根据当时已知的严格准确的有关记载做出的；而且在我看来，此后虽然发现合趾猿和吼猴的小脑后叶相对地不甚发育，但这一叙述显然并未因此而减弱其力量。尽管这两个物种的小脑后叶例外地短小，还没有任何人会以此为借口说，它们的脑以最轻微的程度接近狐猴类的脑。如果不把狨类置于它的自然位置之外，像比肖夫教授最令人不解地所做的那样，则可把他所选用的那些动物系列排写如下：人类、猩猩、大猩猩、长臂猿、天狗猴、髭猴、长尾猴、弥猴、卷尾猴、绢毛猴、狨、狐猴、懒猴。我敢再次重申，在这一系列中，狨和狐猴之间的间隙最大，这一间隙比这一系列中任何其他二类之间的间隙都大得多。比肖夫教授忽视了在他撰写该文很久以前葛拉条雷就提出的一个事实，即，完全根据大脑的性状就可以把狐猴类分出于灵长目之外；弗劳尔教授在描述爪哇懒猴的过程中曾做过如下观察①：

"特别值得注意的是，有些猴类、即阔鼻猴类群的较低成员，普遍被认为在后叶以外的其他方面都同大脑半球态短的狐猴类相接近，就后叶的发育来说，其中没有一种猴类是同狐猴类接近的。"

① 《动物学会学报》(*Transactions of the Zoological Society*)，第 5 卷，1862 年。

过去10多年来如此众多的研究者所做的研究大大地增进了我们的知识，就成熟的脑的构造而言，这些知识充分证明了我在1863年所做的叙述。据说，即使承认人类和猿类的成熟的脑是彼此相似的，但其实它们之间的差异还是很大的，这是因为它们在发育方式上表现了根本的差异。如果这等发育的根本差异确实存在的话，恐怕我比任何人都乐意承认这一论点的力量。但我否认确有这等根本差异存在。相反地，人类和猿类的脑在发育上却是根本一致的。

引起葛拉条雷做出有关人类和猿类的脑在发育上存在根本差异的论述，在于他认为：在猿类中，脑沟最先出现在大脑半球的后区，而在人类胎儿中，脑沟最初出现在脑的前叶①。

这一论述总的是以两种观察为基础的，其一，有一只快要生产的长臂猿，其后部脑回十分发达，而前叶的脑回则"几乎看不见"②；其二，有一个怀孕22个或23个星期的人类胎儿，它的脑岛还没有被覆盖起来，尽管如此，"脑前叶仍有齿痕，一种不很深的裂沟显示着脑后叶的分离，其沟甚浅，与其发育期相应。而脑之其余表面则处于完全平滑状态。"

该书第二图版的1、2、3图只示明了这个大脑半球的上面、侧

---

① 葛拉雷在其《关于人类脑褶痕的研究报告》(39页　第四图版，第3图)中说道，"在一切猿类，皆为脑后叶褶痕最先发达，而前部褶痕则发达较迟，颅顶后头部裂沟在胎体中比较大。人类的前部裂沟最先出现，这是显著的例外，不过大脑前叶的普通发育同猿类均依同一规律"。

② 葛拉条雷说(原著39页)："此胎体的脑后部裂沟发育甚好，而脑前部的裂沟几乎不可见"。第四图版第3图中的罗兰德氏裂(Rolando fissure)和前部裂沟均甚明晰。阿利克斯(Alix)在他的所写的《对葛拉条雷的人类学观点的评论》(见《巴黎人类学会会报》，1868年，32页)一文中说道："葛拉条雷所有者为一长臂猿胎体的脑，这种猿与猩猩相近，处于生物界的很高等级，最有名的博物学家把它列入似人猿类。例如，赫胥黎力持这种看法。葛拉条雷从长臂猿的一个胎体发现脑前叶的裂沟尚未出现时，脑后叶的褶痕已有很好的发育了。这就是说，人类的褶痕的出现，由a在w，而猿类的褶痕的发达，乃由w在a。"

面和下面，而未示明其内面。值得注意的是，该图决不能证明葛拉条雷的描述，因为大脑半球后半部表面上的裂沟(前颡)比前半部所模糊显示的任何裂沟都更显著。如果该图是正确的话，则决不能证明葛拉条雷的结论是正确的。他的结论是："在美发猴和长臂猿的脑同人类胎儿的脑之间，存在着根本的差异，即人类的颞颥脑沟未出现之前，额部脑沟久已存在。"

然而，自从葛拉条雷时代以来，关于脑回和脑沟的发育，已由施密特、比肖夫、潘施[1] 等人重新进行了研究，尤其塔克尔的研究[2] 不仅是最新的，而且是最完善的。

他们研究的最后结果可总结如下：

1. 人类胎儿的西耳维氏裂(Sylvian fissure)是在怀孕的第三个月内形成的。在第三个月和第四个月，大脑半球平滑而圆(西耳维氏凹除外)，远远向后突出于小脑之外。

2. 所谓真正的脑沟是在胎儿的第四个月末到第六个月初这段时间内才开始出现，但埃克慎重地指出，不仅它们的出现时期，而且它们的出现次序都有相当的个体差异。然而，无论额部脑沟或颞颥脑沟都不是最早出现的。

事实上最早出现的是在大脑半球的内面，(葛拉条雷似乎没有检查过胎儿脑的内面，所以忽略了这一点)，无论内垂直脑沟(即顶枕脑沟)或小海马脑沟都是这样，此二者密切接近，终于合二而一。通常顶枕脑沟在二者之中较先出现。

3. 在上述期间较晚阶段，另一种脑沟，即"顶后脑沟"或罗兰德

① 《人类和猿类大脑半球主要部分的脑沟和脑回的典型排列方式》(Ueber die typische Anordnung der Furchen und Windungen auf den Grosshirn-Hemisphären des Menschen und der Affen)，见《人类学文集》(Archiv fur Anthropologie)，第3卷，1868年。

② 《人类胎儿大脑半球主要部分的脑沟和脑回的发育过程》(Zur Entwickelungs Geschichte der Furchen und Windungen der Grosshirn-Hemisphären im Faetus des Menschen)，见《人类学文集》，第3卷，1868年。

氏裂发育了，继此，至胎儿的六个月期间内，其他额叶、颅顶叶、颞颥叶和枕叶的重要脑沟发育了。然而，还没有明显的证据可以证明，其中某一种脑沟永远出现在另一种脑沟之前；而且值得注意的是，埃克所描述的和绘制的这一时期的脑（见原著 212—213 页，第二图版，1、2、3、4 图）示明，作为猿脑的显著特征的前颞颥脑沟（平行裂），其发育如果不比罗兰德氏裂更好，至少也是一样的，前颞颥脑沟比正常的额部脑沟要显著得多。

根据现今已知的事实，我以为人类胎儿的脑沟和脑回的出现次序，同进化的一般原理以及人类是从某种与猿相似的类型进化而来的观点完全符合；虽然那种与猿相似的类型在许多方面同现今生存的灵长类任何成员都不相同。

50 年前，冯贝尔教导我们说，亲缘关系相近的诸动物在其发育过程中最初带有它们所属的那些较大类群的性状，以后逐渐地呈现它们那一科、属和种所专有的那些性状；而且，同时他证明了，一种高等动物的任何发育阶段都不会同任何低等动物的成熟状态确切相似。可以十分正确地说，一只蛙曾经通过一条鱼的状态，因为在其生命的某一时期，蝌蚪具有一条鱼的所有性状，如果它不再进一步发育，势必要被列入鱼类之中。但同等正确的是，一个蝌蚪同任何已知的鱼都很不相同。

同样地，五个月人类胎儿的脑可以被正确地说成不仅是一种猿的脑，而且可以说成是一种钩爪类①的或一种同狨相似的猿的脑；这是因为它的大脑半球具有大的后叶，而且除了西耳维氏脑沟和小海马脑沟外，并无其他任何脑沟，这种特性只有在灵长目的钩爪类中才能找到。但同等正确的是，正如葛拉条雷所说的，在其宽

① 属灵长类，其性质在狭鼻猴类和阔鼻猴类之间，形小，尾长。前肢的拇指不能同其他四指对向；后肢的拇趾虽有普通猿类所具有的那样扁爪，但其他趾则有钩爪而同食肉兽类相似。——译注

阔的西耳维氏裂方面，它同任何真正的猿都不相同。毫无疑问，它同一只狨的龄期较大的胎儿的脑就要相似得多。但我们对狨类脑的发育情况却一无所知。关于阔鼻猴类，我所知道的唯一观察是由潘施做的，他发现一只卷尾猴胎儿的脑除了西耳维氏裂和深的小海马裂之外，仅有一个很浅的前颞额裂(即葛拉条雷所谓的"平行裂")。

像松鼠猴那样的阔鼻猴类具有前颞额脑沟，它们仅在大脑半球的外部前一半表现有脑沟的残迹，或根本全无，这一情况以及上述事实毫无疑问为葛拉条雷的假说提供了良好的证据，即，他认为阔鼻猴类的后脑沟出现在前脑沟之前。但是，决不能因此就把适用于阔鼻猴类的规律扩充到狭鼻猴类。关于犬猿类的脑，我们还没有掌握任何材料；关于类人猿，除了上述有关即以诞生的长臂猿的脑以外，并无其他记载。现在，没有一点证据可以阐明黑猩猩的或猩猩的脑沟的出现次序和人类的不同。

葛拉条雷以如下格言开始了他的序文："在科学上急于下结论，极为危险。"我恐怕他在其著作中讨论人类和猿类的差异时一定忘记了这一正确的格言。毫无疑问，这位优秀的作家对于正确理解哺乳动物的脑还是做出了前所未有的最卓越贡献，如果他活到今天，从这方面研究的进展得到益处，他大概会首先承认他的研究数据是不够充分的。不幸的是，他的结论被那些不懂得其基本原则的人们用来作为支持愚昧主义的论据了①。

但重要的是应该指出，葛拉条雷在其关于颞额脑沟或额部脑沟相对出现次序的假说中无论是对还是错，事实仍然是存在的；即，在颞额脑沟或额部脑沟出现之前，人类胎儿的脑所呈现的性状只有在灵长目的最低等类群中(狐猴类除外)才能找到；如果人类

① 例如，勒孔特(Lecomte)神父所写的那本很糟的小册子。《达尔文主义和人类的起源》(Le Darwinisme et l'origine de l'Homme)，1873年。

从某一类型逐渐变化而成，而这一祖先类型同其他灵长类所来自的类型正好相同，那恰恰是我们所期待的确应如此的情况。

第二部分

性　选　择

第八章

性选择原理

第二性征——性选择——作用方式——雄者的过剩——多配性——性选择通常只使雄者发生变异——雄者求偶的热望——雄者的变异性——雌者对配偶的选择——性选择与自然选择的比较——在生命相应时期出现的遗传性，在一年相应季节出现的遗传性，限于性别的遗传性——若干遗传形式之间的关系——雌雄任何一方以及幼小动物为什么没有通过性选择而发生改变的原因——有关整个动物界雌雄两性比例的补充说明——同自然选择有关的雌雄两性比例。

凡是雌雄异体的动物，雄者的生殖器官必然与雌者不同，这就是第一性征。但雌雄的区别常常表现在亨特所谓的第二性征上，而它们同生殖行为并无直接关系；例如，为了易于寻找或接近雌者，雄者具有某些感觉器官或运动器官，这是雌者所没有的，或比雌者的这等器官更为高度发达；又如，为了将雌者牢牢抓住，雄者具有特殊的抱握器官。这样器官的种类形形色色，无穷无尽，进级为通常被列为第一性征的那些器官，而且在某些场合中，它们同第一性征的器官几乎无法区别；在雄性昆虫腹端的复杂附属物中我们见到许多这方面的例证。因而除非我们将“第一的”这个术语的含义限于生殖腺的范畴，否则就几乎不可能决定何者是第一性征，何者是第二性征。

雌者同雄者的区别往往在于前者具有营养其后代或保护其后

代的器官，譬如哺乳动物的乳腺以及有袋类的腹袋。在少数场合中，却是雄者具有类似的器官，而雌者缺如，譬如某些雄鱼的储卵囊，这等器官在某些雄蛙身上也有暂时的发育。大多数蜂类的雌者具有一种采集和携带花粉的特殊工具，它们的产卵器也演变成一根螯针，用于保卫幼虫和群体。还可以举出许多相似的事例，但与本文无关。然而，另外一些雌雄差异尽管同初级生殖器官毫无关联，却正是我们所特别注意的——譬如雄者的较大体型、力量、好斗性，用于对竞争对手进攻的武器或防御的手段、绚丽的色彩和各种装饰，鸣唱的能力以及诸如此类的其他性状。

除了上述的第一性差异与第二性差异以外，某些动物雌雄二者的构造差异是和不同的生活习性有关，而完全不是或仅是间接地和生殖功能有关。像某些蝇类（蚊科和虻科）的雌者都是吸血虫，而雄者则以花为生，其口器缺少上颚。某些蛾类和一些甲壳类（异足虫）的雄者具有不完备而封闭的口器，不能取食①。某些蔓足类的补雄就像附生植物那样，或依雌者为生，或依两性体为生，它们既没有口器也没有抱握肢。在这等场合中，是雄者发生变异并失去雌者所具有的某些重要器官。在另外一些场合中，则是雌者失去了这等器官；例如，雌萤火虫无翅，许多种雌蛾也如此，其中有些甚至永远没有脱茧而出。许多寄生甲壳类的雌者已失去它们用于游泳的后肢。有些象甲科的象甲虫，其雌雄二者的喙长有巨大差异②，但这种性差异以及许多与此相似的差异的意义何在，尚属不明。与不同生活习性有关的雌雄二者之间的构造差异，一般只限于次级动物；但关于少数一些鸟类的喙，雄者和雌者的却不相同。新西兰辉雅鸟的这种差异非常之大，我听布勒博士说③，那种雄鸟用坚固

① 韦斯特乌德著《昆虫的近代分类》第2卷，1840年，541页。下面关于Tanais的描述得到了弗里茨·米勒（Fritz Müller）先生的协助。

② 柯尔比与斯彭斯（Kirby and Spence），《昆虫学导论》1826年309页。

③ 《新西兰的鸟类》（Birds of New Zealand）1872年，66页。

的喙从腐朽树木中凿取昆虫的幼虫，而雌鸟则用长得多的而且非常柔软易弯的喙在树木较柔软的部位探求之：它们就这样彼此互助。在大多数场合中，两性之间的构造差异多少都同种的繁殖有直接关系：因而一个雌者为了给大量的卵供应养分，需要比雄者更多的食物，所以需要特殊的取食手段。一只生命很短的雄性动物的取食器官由于不使用而消失，并不会带来什么损害；但要保持完善状态的运动器官，以便接近雌者。反之，在雌者方面，如果逐渐获得一些习性使飞翔、游泳或行走等能力成为无用的话，也可能失去这等运动器官，而不会不安全。

然而，我们在这里所涉及的仅是性选择。性选择是以某些个体专在繁殖方面比同一性别和同一物种的其他个体占有优势为前提的。如上所述，当雌雄二者因生活习性不同而引起构造上的差异时，它们无疑是通过自然选择而发生变异，并靠遗传作用使该变异限于同一性别。除此之外，第一性器官以及养育或保护幼小动物的那些器官也都处于同样的影响之下；因为最善于繁殖和养育其后代的那些个体，在其他条件相等的情况下，将会留下最大量的后代，以继承它们的优越性；而不善于繁殖和养育其后代的那些个体就会留下少量的后代，以继承其弱小的能力。当雄者势必寻找雌者时，他就需要感觉的和运动的器官，但如果这些器官也是其他生活用途所需要的，它们将像在一般场合中那样，通过自然选择而得到发展。当雄者找到了雌者时，雄者有时绝对需要抱握的器官以便把雌者抓牢；因此华莱士博士告诉我说，某些蛾类雄者的跗节，即脚如果破裂，它们就不能同雌者交合。许多海洋甲壳类的雄者一旦达到成年，它们的足和触角就会以一种异常的方式发生改变，以便抱握雌者；从这一点我们可以设想，这是因为这等动物要受浪涛的冲击，为了繁衍其后代，它们就需要有这些器官，如果是这样的话，这些器官的发展就是正常选择即自然选择的结果。有些等级极低的动物也为了同样的目的而发生了变异；因此某些寄生虫的雄者，一

旦充分成长，其躯体末端的下表面就变得像一把粗锉刀那样粗糙，它们借此把雌虫盘绕起来并持久地抱握住雌者[①]。

倘若雌雄二者都遵循完全相同的生活习性，而且雄者的感觉器官或运动器官比雌者的更为高度发达，那么这些器官的完善化可能就是由于雄者为了寻求雌者所必不可少的；但这些器官在绝大多数情况下，仅仅是给某个雄性个体提供一种优势以胜过另一个雄性个体，因为，那些秉赋较差的雄者只要有充裕的时间也会成功地同雌者交配；再从雌者的构造来判断，它们在其他一切方面对于正常的生活习性也都适应得一样好。在这等场合中，既然雄者获得其现有构造并非由于要在生存斗争中更好地适于生存，而是由于获得了一种优势以胜过其他雄者，还由于把这种优势仅仅传给了其雄性后代，所以在这里性选择一定起了作用。正是这种区别的重要性，引导我把这种选择的形式命名为**性选择**。再者如果抱握器官对雄者的主要用途是在于当其他雄者到来之前或受到其他雄者的攻击时，防止雌者逃脱，那么这些器官将会通过性选择，也就是凭借某些个体所获得的胜于其竞争对手的优势而完善起来。然而在大多数这类场合中，要把自然选择的效果和性选择的效果区别开来是不可能的。关于雌雄二者的感觉、运动和抱握器官的种种差异细节可以连篇累牍地加以叙述。然而，由于这些构造并不比那些能适应正常生活用途的其他构造更为有趣，所以我将几乎完全略而不谈，而只在各个动物纲下列举少数例子。

有许多其他构造和本能必定是通过性选择而发展起来的

---

① 佩里埃(M. Perrier)提出这个例子[见《科学评论》(*Revue Scientifique*)1873年2月1日，865页]以为这对性选择信念有决定性的，因为他猜想我把全部性差异都归因于性选择的作用。因此这位著名的博物学者，像许多其他法国人一样，即使对性选择最初的那些原则也很容易理解。有一位英国博物学者坚持认为某些雄性动物的抱握器不是通过雌者选择而发展起来的。如果我没有遇到佩里埃这个论述，我想任何人读了本章之后，都不会认为我所主张的雌者选择对雄者抱握器官的发展有所帮助是可能的。

诸如雄者用于同其竞争对手进行战斗并把它们赶走的进攻武器和防御手段——雄者的勇敢和好斗性——它们形形色色的装饰物——它们用来发生声乐或器乐的装置——以及它们那散发气味的腺体，后面这些构造中的多数仅仅是为引诱或刺激雌者服务的。显然，这些性状是性选择而不是自然选择的结果，因为要是没有秉赋较好的雄者在场，那些没有武装，没有装饰或是没有魅力的雄者也会同样成功地在生存斗争中留下众多的后代。我们可以推论，情况正是如此，因为雌者既没有武装又没有装饰，也仍然能够生存下来并繁殖其种类。我们刚刚涉及的这类次级性征，由于在许多方面都饶有兴趣，特别是由于这类性征有赖于任何一种性别的诸个体的意志、选择和竞争，所以将在以下几章详加讨论。当我们见到两个雄者为了占有雌者而战斗或是一些雄鸟在一群雌鸟面前展示它们华丽的羽衣并作出奇特滑稽的表演时，我们毫不怀疑它们这样做虽然是由于本能所引致，但显然懂得它们的所作所为是为了什么，而且是有意识地发挥其心理的和躯体的能力。

正如人们能从斗鸡场上选择优胜者来改进其斗鸡品种一样，在自然界里看来也是那些最强壮的、精力最充沛的或具有最佳武器的雄者占有优势，并导致自然界里的品种或种的改进。一种轻微程度的变异性可导致某种优势，无论这种变异性多么轻微，但在反覆的生死争夺中，对于完成性选择的过程，这已经够用了；可以肯定第二性征是显著容易变异的。正如人类能按照自己的审美标准使雄性家禽产生美色，或更确切地说，人类能对原来由亲种所获得的美色加以改变，从而能使塞勃赖特短腿鸡产生漂亮的羽衣和一种直立而独特的姿势，——在自然状况下，看来雌鸟同样经过对那些魅力较强的雄鸟进行长期选择，曾使后者增添美色以及其他吸引雌者的属性。毫无疑问，这意味着雌者方面具有鉴别和审美的能力，乍一看，这似乎是极其不可能的；但根据以后所提出的事实，我希望能够阐明雌者确有这等能力。然而，当我们说到次级动物具有

美的感觉时，绝不可设想它可以同一个具有多种多样复杂联想的文明人的这种感觉相比拟。把动物的审美力同最低等未开化人的审美力加以比较，较为恰当，这等未开化人赞美任何灿烂发光的或奇特的东西并用来装饰自己。

由于我们对若干之点还是无知无识，所以有关性选择作用的确切方式多少有点无法肯定。尽管如此，如果那些已经相信物种可变性的博物学者们读到以下章节，我想他们还会同意我的意见，即性选择对有机界的历史起了一种重要作用。可以肯定的是，在几乎所有的动物中，存在着雄者之间为了占有雌者的斗争。这个事实如此为大家所熟知，以致再举例说明就成为多余的了。假定雌者的心理能力足够用来选择对象，那么雌者就有从若干雄者当中选中一个对象的机会。在许多场合中，特定的环境条件使雄者之间的斗争特别剧烈。这样，英国的雄性候鸟一般都先于雌鸟抵达繁殖地，因此许多雄鸟早就作好了争夺每只雌鸟的准备。詹纳·韦尔先生告诉我，那些捕鸟人断言夜莺（歌鸲）和莺永远都是如此，而关于后者，詹纳·韦尔先生自己就可以证实这种说法。

布赖顿的斯韦斯兰先生最近40年来有一种习惯，每当候鸟第一次来到时他就去猎捕，而他从来没有发现任何物种的雌鸟先于雄鸟到达。在一个春天里，他打了39只雄黎氏鹡鸰以后，还未见到一只雌鸟。丘尔德先生从解剖那些最先到达这个国家的鹬鸟中断定雄鸟先于雌鸟到达。美国绝大多数的候鸟也是如此①。从海洋溯游到英国一些河里的大多数雄鲑鱼比雌鱼先行到达，并作好了繁殖的准备。蛙类和蟾蜍类似乎也是如此。在整个昆虫这个大纲中，几乎总是雄虫先从蛹期羽化，因此一般在能见到任何雌虫之前的

---

① 艾伦，《佛罗里达的哺乳类和冬鸟类》(Mammals and Winter Birds of Florida)，见《比较动物学学报》，哈佛大学出版，268页。

这段时间里到处都是雄虫①。雄者和雌者在到达期和成熟期上的这种差异，其原因是十分清楚的。那些每年最先迁涉到任何地方的雄者，在春季最先作好繁殖准备的雄者，或是最富于热情的雄者，都能留下最大量的后代；而这些后代大概都有遗传相似的本能和体质的倾向。必须记住，如果不同时干扰雌者的产仔时间，就不可能非常实质性地改变雌者性成熟的时间，而产仔时间一定是由每年的季节来决定的。总之，在几乎所有雌雄异体的动物中，雄者之间为了占有雌者要经常不断地反覆进行斗争，这一点是无可怀疑的。

我们研究性选择所面临的难题，在于弄清楚战胜了其他同性对手的雄者，或者那些被证明对雌者最富有魅力的雄者怎样比被击败的、魅力较差的竞争对手留下了数量较多的后代以继承它们的优越性。除非确有上述结果发生，否则使某些雄者比其他雄者占有优势的那些性状就不会通过性选择而臻于完善和增强起来。假如雌雄二者以完全相等的数目存在，那些禀赋最差的雄者（多配性盛行的地方除外）也会最终找到雌性配偶，同那些秉赋最佳的雄者一样，留下同样多的后代，并且同样好地适应其一般的生活习性。根据各种事实和考察，我以前曾推断，关于第二性征十分发达的大多数动物，其雄者的数量大大超过了雌者；但这决不是永远如此。如果雄者同雌者是二比一，或三比二，甚至其比例多少更低些，那么整个情况就要简单了；因为那些武装得更好或更富有魅力的雄者将会留下最大量的后代。然而在尽可能考察了不同性别的数量比例之后，我不相信两种性别在通常情况下，其数量会悬殊太大。在大多数情况下，看来性选择的效用是通过下述方式来完成的。

① 即使那些雌雄异株的植物，其雄花一般也比雌花早熟。正如斯普林格尔（C. K. Sprengel）最先指出的，许多雌雄同株的植物都是异花授粉的，这就是说，其雄性器官和雌性器官不在同一时间成熟，因此这些植物不可能自花授粉。现在这种花的花粉一般比柱头先成熟，虽然也有雌性器官先成熟的例外。

让我们以任何一个物种为例，譬如说某一种鸟，把居住在某一地区的雌鸟分为数量相等的两群，其中一群包含的个体精力较充沛，营养状况较好，另一群包含的个体则精力较差，健康较弱。几乎没有任何疑问，前者在春季要先于其他雌鸟做好繁殖准备；这正是多年来对鸟类生活习性进行了细致观察的詹纳·韦尔先生的意见。同样无可怀疑的是，那些精力最充沛、营养状况最好以及最早生殖的雌鸟，平均起来将会成功地养育数量最大的优良后代[①]。至于雄鸟，正如我们所见到的，一般先于雌鸟作好生殖准备；那些最健壮的雄鸟，以及有些物种里那些武装得最好的雄鸟，把弱者赶走之后，将会同那些精力较充沛、营养状况较良好的雌鸟进行交配，这因为它们都是最早开始生殖的[②]。这等精力充沛的配偶肯定会比那些发育迟缓的雌鸟养育数量较多的后代，假如雌雄二者的数量相等，这些发育迟缓的雌鸟势必要同那些打了败仗的力量较弱的雄鸟进行交配；对于在连续世代的过程中增加雄者的大小、体力和勇敢或是改进其武器，上述那种情况正是所需要的一切。

但在很多场合中，战胜了其竞争对手的雄者如果没有被雌者选中，还是不会占有后者。动物的求偶决不是如人们所想象的那么简单而短促的一桩事。雌者最容易受那些装饰较美的、或鸣唱最动听的、或表演最出色的雄者所挑逗，或者喜欢与之配对；但同时雌者们很可能挑选那些精力比较充沛而活跃的雄者，这一点已通过

---

① 下面是关于后代性状的有力证据。一位有经验的鸟类学家艾伦先生（见《佛罗里达东部的哺乳类和冬鸟类》，229 页）讲到在最先孵出的雏鸟遭到了意外毁灭之后才晚期出生的同窝雏鸟时说道，它们“比在该季节较早孵出的雏鸟，个子比较小，色彩也较暗淡。假如每年都要孵出若干窝的雏鸟来，那么一般地说那较早成窝孵出的雏鸟在所有方面都显得最完善和精力充沛”。

② 赫尔曼·米勒（Hermann Müller）关于那些每年最先羽化的雌蜂，也得出相同的结论。参阅他的著名论文《达尔文学说在蜜蜂中的应用》（Anwendung den Darwin' schen Lehre auf Bienen），见《动物比较解剖学年刊》（Verh. d. V. Jahrg.）第 29 卷，45 页。

实际观察在一些例子里得到了证实①，这样，那些最先开始生殖的精力比较充沛的雌者将会在许多雄者中进行选择.虽然雌者们也许不会总是选得最强壮的或武装最好的对象，但它们将会选得那些精力充沛的、武装良好的、并在其他方面最有魅力的对象。因此，这些早期交配的雌、雄双方，有如上面所阐明的，在养育后代方面，就会比其他配偶占有优势；显然这在诸代的漫长过程中足可使雄者不仅增加其体力和战斗力，同样地还可增添其各种各样的装饰物或其他魅力。

与此相反，雄者选择特定雌者的事例就比较罕见得多，在这样场合中，显然只有那些精力最充沛的并且战胜了其他对手的雄者才能最自由地选择雌者；几乎可以肯定，它们将会选择精力充沛的以及具有魅力的雌者。这等配偶在养育后代方面将占有优势，如果雄者在交配季节具有保护雌者的力量，如某些高等动物之所为，或能帮助雌者养育后代，则上述优势尤其明显。如果某一性别爱好和选择相反性别的某些个体，同样的原理也可应用；假定它们所选择的不仅是更有魅力而且也是更精力充沛的个体的话。

两种性别数量的比例

我曾说过，要是雄者的数量大大超过雌者，则性选择就是一桩简单的事情。因此，我对尽可能多的动物的两性比例进行了力所能及的调查；但材料是不充分的。我在这里所提出的只是调查结果的一个简短提要，而将有关细节留在附录中去讨论，以免干扰我的论述的进程。只有对家养动物，才能确定其出生时的性别比例数；但

① 关于家鸡，我曾收到有关这一效果的报告，将在以后举出。甚至关于鸟类，像终生配偶的鸽子，我听詹纳·韦尔先生说，当雄鸽受伤或衰弱了之后，雌鸽也会把它遗弃而去。

没有留下有关这个目的的任何记录。然而，我通过间接方法搜集了相当可观的统计数字，从这些数字可以看出我们大多数的家养动物在出生时其雌雄二者的数目接近相等。例如，竞赛马 21 年间的出生记录为 25,560 匹，公马出生数与母马出生数的比例为 99.7 对 100。细躯猎狗雌雄出生数不相等的程度比任何其他动物都大，在 12 年间出生的 6,878 只小狗中，公狗与母狗的比例为 110.1 对 100。然而能否可靠地推论自然条件下和家养条件下的性别比例是一样的，在某种程度上尚属疑问。因为环境条件的轻微而未知的差异会影响性别的比例。因此，从人类来看，以女性出生率为 100，则英国的男性出生率为 104.5，在俄国为 108.9，而利沃尼亚的犹太人则为 120。但我将在本章的附录里再回头讨论这个男性出生数过量的奇妙问题。然而在好望角，若干年内出生的欧洲血统的男孩同女孩的比例数是 90 到 99 对 100。

对我们现今的目的来说，我们所关心的不仅是出生时期的性别比例数而且还有成熟时期的性别比例数，这就增加了另一个可疑因素；因为有一个十分确定的事实：就人类来说，男孩在出生前、出生时、以及生后最初几年内死亡的数目要比女孩大得多。公羊羔的情况几乎肯定也是这样，有些其他动物的情况大概亦复如此。有些物种的雄性动物彼此争斗相杀；或者到处互相追逐直至变为衰弱不堪。它们在急切寻求雌者而四处奔走时，也必定常常面临种种危险。许多种类的雄鱼比雌鱼小得多，前者据信常常被后者或是别的鱼类所吞食。有些鸟类的雌鸟看来要比雄鸟早死；它们容易在巢里或照看雏鸟时被消灭掉。就昆虫来说，雌性幼虫常常大于雄性幼虫，从而就更可能遭到吞食。在某些场合中，成熟的雌者比较不爱动而且动作比雄者迟缓，从而不能有效地逃避危险。因此，关于自然状况下的动物，为了断定它们成熟时期的性别比例，我们必定只有依靠估计；除非性别数目的不相等非常悬殊，否则这种方法的可靠性是很小的。尽管如此，就我们所能作出的判断来说，我们可以

从附录所列举的事实中作出这样的结论，即，少数哺乳类、多数鸟类、一些鱼类和昆虫类的雄性数量要比雌性数量大得多。

雌雄二者的逐年比例稍有变动：例如竞赛马，某年，每产100匹母马，相应产107.1匹种马，而另一年则为92.6匹，又如细躯猎狗，雄者的比例数从116.3变动到95.3。但是，如果在比英格兰更广阔的区域里搜集更庞大的数字来列表显示，则这等变动可能就会消失；像这样，简直不足以导致性选择在自然条件下发生作用。尽管如此，在某些少数野生动物的场合中，正如附录所表明的，性别比例似乎还在不同季节里，要不，在不同产地出现足够程度的变动以导致性选择发生作用。其所以如此，是因为可以观察到，那些能够战胜其竞争对手的，或对雌者最有魅力的雄者，在某些年代或某些产地所获得的任何优越性大概都会遗传给其后代，而不致从此消失。在随后的季节里，当出现雌雄数目相等时，每个雄者如果都能得到一个雌者，那些产生较早的而且较为强壮的或更有魅力的雄者至少还会同较弱的或魅力较差的雄者一样有一个留下后代的良好机会。

多配性

多配性的实行也会导致由雌雄数目实际不相等所引起的相同结果；因为，如果每个雄者占有两个或更多的雌者，那么就会有许多雄者不能找到配偶；后者无疑将是那些较弱的或魅力较差的雄性个体。许多哺乳类或少数鸟类都是一雄多雌，即多配性的，但我未发现低等动物有这种习性的任何证据。这种动物的智力也许不足以导致它们集拢一群雌者并守住她们。看来多配性和第二性征的发达之间存在着某种关系，几乎是确定无疑了；这一点支持了这样的观点：即雄者的数量优势大概显著地有利于性选择的作用。尽管如此，许多严格单配性的动物，特别是鸟类，还显示了强烈显著

的第二性征；而某些少数多配性的动物却没有这等性征。

我们先对哺乳类简略地浏览一下，然后再看看鸟类。大猩猩似乎是多配性的，而且雄者相当不同于雌者；有些狒狒也是如此，它们聚群而居，所含成年雌者为雄者两倍。南美的卡拉亚吼猴在毛色、髭须和发音器官方面都呈现十分显著的性差异；而且一个雄者一般有二至三个雌者和它一起生活；白喉卷尾猴①的雄者和雌者多少有些差别，好像也是多配性的②。关于大多数其他猴类的这方面情况还了解得很少，但有些物种是严格单配性的。反刍类显然是多配性的，它们所表现的性差异比差不多任何其他哺乳动物类群更加常见；这种情况特别适用于它们的武器，当然也适用于其他性征。大多数的鹿、牛和绵羊都是多配性的；大多数的羚羊也是如此，虽然有些是单配性的。安德鲁·史密斯爵士在谈到南非的羚羊时，指出在12只左右的一个羚羊群里，成熟的公羊很少超过一只。亚洲的高鼻羚羊似乎是世界上最放纵的一雄多雌主义者，因为帕拉斯述说③，这种公羚羊要把全部的竞争对手赶走并把100只左右的母羊和小羚羊集拢为一群；母羊无角而有较柔软的毛，但在其他方面与公羊没有太大差别。福克兰群岛上的野马和美国西部诸州的野马都是多配性的，但是，公马除了较大的体型、躯体的比例与

① 阔鼻类，卷尾猴科。形小，拇指发达，面部肉色，头部与四肢皆呈黑褐色。尾长，末端卷曲，尾普缠绕，栖于美洲森林中。悲哀时，发一种泣声，故又名"泣猴"(weeper capuchin)。体有麝香气，亦名"麝猴"(musk monkey)。——译注

② 关于大猩猩，参阅萨维奇(Savage)和怀曼的文章，见《波士顿博物学杂志》，第5卷，1845—1847年，423页。关于狒猴(*Cynocephalus*)，参阅布雷姆的《动物生活图解》(Illust. Thierieben)第1卷，1864年，77页。关于吼猴，参阅伦格尔的《巴拉圭哺乳动物志》，1830年，14，20页。关于卷毛猴，参阅布雷姆的著作，同前书，108页。

③ 帕拉斯《动物学专论》(*Spicilegia Zoolog.*, *Fasc*)，第12卷，1777年，29页。安德鲁·史密斯爵士，《南非动物学图解》(Illustrations of the Zoology of S. Africa)，1849年，29页。欧文在其《脊椎动物解剖学》中(第3卷，1868年，633页)列举了一个表，附带指出羚羊的哪一个种是营群居生活的。

母马有所不同之外，其他方面的差别很小。野公猪的獠牙和其他一些方面呈现出十分显著的性特征。在欧洲和印度，除了生殖季节之外，野公猪都过着独居生活；但是，正如在印度有很多机会对这种动物进行过观察的埃利奥特爵士所认为的那样，雄者在生殖季节同若干雌者相配。这种情况是否适用于欧洲的野猪还难于确定，但有某种证据支持这一点。成年的雄性印度象同野猪一样，在其一生中的大部分时间里是独居的，但如坎贝尔博士所指出的，“当它同一些别的象在一起时，从一群雌象中发现的雄象很少多于一只；”较大的雄象把较小的和较弱的雄象赶走或弄死。雄象的粗长獠牙、庞大的体型、体力和耐力都同雌象有所不同；正因为这些方面的差异是如此之大，所以当捕到雄象时其价值要比雌象高出1/5①。其他厚皮动物的雌雄二者差别很小或完全没有差别，如迄今所了解的那样，它们都不是多配性动物。我也没有听说过翼手目、贫齿目、食虫目和啮齿目中的任何物种是多配性的，除了啮齿目中的普通家鼠，据一些捕鼠人讲，雄鼠是同若干雌鼠生活在一起的。尽管如此，有些树懒（贫齿目）的雌雄二者在性状以及肩部毛斑的颜色上还有所不同②。而许多种类的蝙蝠（翼手目）呈现十分显著的性差异，主要在于雄者具有散发气味的腺体和肚囊，而且在于它们的体色较浅③。在啮齿类这一大目中，就我所知道的，其雌雄二者很少有差别，即使有差别，也不过是毛的色泽稍有不同而已。

正如我听安德鲁·史密斯爵士说的，南非的雄狮有时同单独一个母狮一块生活，但通常是同较多的母狮在一起，有一回竟发现

① 坎贝尔博士，《动物学会会报》，1869年，138页。再参阅海军上尉约翰斯东（Johnstone）所写的有趣论文，见《孟加拉亚洲学会会报》（*Proc. Asiatic Soc. of Bengal*）1868年5月。

② 格雷，《博物学年刊杂志》（*Annals and Mag. of Nat. Hist.*），1871年302页。

③ 参阅多布森博士（Dr. Dobson）的出色文章，见《动物学会会报》，1873年241页。

有5头母狮之多；因而雄狮是多配性的。就目前我所发现的来说，在所有陆栖食肉类中，雄狮是唯一多配性动物，而且只有它呈现了十分显著的性征。然而，如果我们把注意力转到海栖食肉类，正如我们以后将看到的那样，情况就大不相同了；因为海豹科的许多物种表现了异常大的性差异，而且它们显然是多配性的。例如佩隆认为，南部海洋的雄象海豹(海象)经常占有若干只雌象海豹，由福斯特命名的雄海狮有二三十只雌海狮在其左右。在北部海洋，由斯特勒命名的雄海狗，甚至伴随着更多的雌者。正如吉尔博士的论述[①]，有一个有趣事实，即，单配性的物种，“或是那些营小群生活的动物，其雌雄二者之间在体型大小上差别很小；那些社会性的物种或者更确切地说，那些雄者占有许多配偶的物种，其雄者的体型要比雌者大得多。”

在鸟类中，许多物种的雌雄二者之间的差别很大，它们肯定是单配性的。我们在大不列颠见到有些鸟类的性差异十分显著，例如，公野鸭只同单独一只母野鸭交配，乌鸫[②]和红腹灰雀[③]据说都是终身配偶。华莱士先生告诉我说，南美的啁啾燕雀[④]以及许多其他鸟类同样也是如此。在若干类群里我未曾发现这些物种究竟是多配性的，还是单配性的。莱逊说，性差异非常显著的极乐鸟是多配性的，但华莱士怀疑他是否有充分证据。沙尔文先生告诉我说，他曾倾向于相信蜂鸟是多配性的。非洲产的黑羽长尾鸟以其尾羽

① 见他所写的有关海豹(The Eared Seals)一文，《美国博物学者》，第4卷，1871年1月。

② 即 *Turdus merula L.*，多产于欧洲及北美。——译注

③ 即 *Pyrrhula pyrrhula*。——译者

④ Cotingidae 是科名，此处依原文。——译注

著称，确实好像是一种多配性动物①。詹纳·韦尔先生和其他人士都曾向我保证说，一巢之内有三只欧掠鸟来往，似乎是常见之事；但这种情形到底是一雄多雌还是一雌多雄还不能确定。

鹑鸡类②所显示的性差异，其强烈显著的强度差不多同极乐鸟或蜂鸟一样，如所周知，其中许多物种都是多配性的；另外一些物种则是严格单配性的。多配性的孔雀或雉同单配性的珠鸡或山鹑，其雌雄二者之间呈现了多么强烈的对照！关于松鸡族，也有许多相似的例子，如多配性的公松鸡和公黑松鸡同母鸟差别很大，而单配性的红松鸡和羽脚雷鸟的雌雄二者之间的差别就很小。在走禽类中，除鸨类以外，只有少数物种呈现强烈显著的性差异，据说大鸨是多配性的。关于涉禽类只有极少数物种有性差异，但流苏鹬则是一个明显的例外。蒙塔古相信这个物种是多配性的一种动物。由此看来，鸟类的多配性同强烈显著的性差异的发展之间有一种密切关系。我曾问过动物园的巴特利特先生，他对鸟类的经验非常丰富，关于公角雉（鹑鸡类的一种）是否多配性的问题，他的回答给我留下深刻的印象，他说："我不知道，但从它鲜艳的羽色来看，可以这样认为。"

值得注意的是，这种只同单独一只母鸟成配偶的本能容易在家养条件下失去。野鸭是严格单配性的，而家鸭则是高度多配性的。福克斯牧师告诉我说，在他邻近的一口大池塘里有一群半驯化的野鸭，猎场看守人射死了其中大量的公野鸭，以致剩下来的公野鸭平均每只摊到七八只母野鸭，但居然也一窝窝地孵出了非常多

---

① 关于普罗戈尼黑羽长尾鸟，参阅《采鹮》(The *Ibis*)，第 3 卷，1861 年，133 页，关于另一种黑羽长尾鸟(*Vidua axillaris*)，参阅同一著作，第 2 卷，1860 年。211 页。关于雷鸡和硕鸨，参阅劳埃德(L. Lloyd)的《瑞典的猎鸟》(Game Birds of Sweden)，1867 年，19，182 页。蒙塔古(Montagu)和塞尔比(Selby)说，黑松鸡是多配性的，而红松鸡则是单配性的。

② 按动物科名后缀为 dae，植物的才是 ceae，此处依原文。——译注

的雏鸭来。珍珠鸡是严格单配性的；但福克斯先生发现当他将一只公珠鸡同二三只母珠鸡养在一块时，它们繁殖得最为成功。金丝雀在自然状况下是成双成对的，但英国的养鸟人把一只公雀和四五只母雀养在一块，成功地使它们进行了繁殖。我之所以注意到这些事例，是因为要提出野生的单配性物种可能容易地变成暂时的或永久的多配性物种。

关于爬行类和鱼类的习性，我们知道得太少了，以致我们无法说出它们的婚配方式。然而，据说刺鱼是多配性的一种动物①；雄者在生殖季节期间同雌者差别显著。

根据我们所能作出的判断，现对性选择导致第二性征发达所通过的途径做出如下总结。已经阐明，那些在竞争中战胜其雄性对手的最强壮、武装得最好的雄者，同那些在春季最早生殖的精力最充沛而且营养状况最良好的雌者配对以后，将会养育数量最多的精力充沛的后代。如果这等雌者所选中的雄者是魅力较强、同时又是精力充沛的，那么它们将比那些发育迟缓的雌者养育数量较多的后代，因为后者势必要同一些精力较不充沛、魅力较差的雄者配对。如果精力较为充沛的雄者所选中的雌者是魅力较强、同时又是健康较好而且精力较为充沛的，则其后果也将同上述一样；要是雄者保护雌者并且帮助雌者给后代供应食物，则其结果尤其如此。精力较为充沛的配偶在养育数量较多后代方面所获得的这种优势，显然已足够使性选择产生效果了。但是，雄者比雌者在数量上如果占巨大优势，其效果就更加显著，不管这种优势是否只是暂时性的和区域性的或持久性的，不管这种优势是否出现于降生时期或雌者大量夭折以后的时期，也不管这种优势是否间接地由于实行多配所引起的，都是一样。

① 诺埃尔·汉弗莱斯(Noel Humphreys)，《水上公园》(River Gardens)1857年。

雄者的变异一般大于雌者

在整个动物界中，除了很少例外，当雌雄二者在外部形态有所差别时，总是雄者的改变较大；因为，雌者一般都保持与同一物种的幼者和同一类群的其他成年成员密切相似的外形。产生这个现象的原因似乎在于几乎所有动物的雄者都比雌者具有较强的激情。因此，正是雄者彼此争斗，孜孜不倦地在雌者面前显示自己的魅力；而那些优胜者将把它们的优越性传给其雄性后代。为什么后代的雌雄二者没有这样都获得父方的性状，将在后面加以探讨。众所周知，所有哺乳动物的雄者都热切地追求雌者。鸟类也是如此；但许多公鸟追求母鸟并不那么积极，而只是在母鸟面前显示其羽衣，作出奇特的表演和纵声鸣唱。少数鱼类的雄者据观察似乎比雌者热切得多；短吻鳄类的情况也确是这样，蛙类的情况尤其明显。正如柯尔比先生所论述的①，整个庞大的昆虫纲的"规律是雄者寻求雌者"。布莱克瓦尔和斯彭斯·巴特先生这两位优秀权威人士告诉我，蜘蛛类和甲壳类的雄者在其习性上比雌者更为活跃，更为见异思迁。当昆虫类和甲壳类的某一性别具有感觉器官或运动器官而另一性别却不具有的时候，或是像通常的情况那样，当这等器官在某一性别比在另一性别更加高度发达的时候，就我所能发现的来说，几乎必须是雄者具有这样器官，不然就是雄者的这样器官最为发达；这就阐明了雄者在两性求偶中是较为活跃的一方②。

---

① 柯尔比与斯彭斯，《昆虫学导论》，第 3 卷，1826 年，342 页。

② 一种寄生的膜翅目昆虫（韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第 2 卷，160 页）是这个规律的例外，其雄虫具有残迹的翅，从来不离开它出生的那个小穴，而雌虫却有发育良好的翅，奥杜安认为这个物种的雌虫是由出生在同一小穴的雄虫来授精的；但远为可能的是雌虫跑到别的小穴以避免近亲交配。我们以后还会在各个动物网中碰到少数例外，即追求者和求偶者是雌者，却不是雄者。

另一方面，除了极少例外，雌者在求偶中都比雄者缺乏热情。正如有名的亨特先生[①]早就观察到的，雌者一般都“需要求爱”，它是腼腆的，而且往往可以见到它在很长一段时间里竭力逃避雄者。每一位观察过动物习性的人都会回忆起一些这类例子。根据下面所列举的种种事实，以及根据完全是由性选择所产生的那些结果，可以阐明雌者虽然相对地比较被动，但一般也实行某种选择，并对一些雄者优先接受其中的一个。或者，它所接受的雄者并不是对它最富有魅力的，而是最少使它厌恶的；雄者的外貌有时使我们相信情况就是如此。雌者方面实行某种选择似乎同雄者热切求偶一样，几乎也是一个普遍的规律。

自然我们会追问，为什么在如此众多而且如此截然不同的各个纲中，雄性动物都变得比雌性动物更加热切求偶，所以是雄者寻求雌者，并在求偶中显示出更为积极的态度。假如雄者和雌者彼此相互寻求，这并不会带来什么好处，而只会召致一些精力的浪费；然而为什么雄者几乎总是寻求者？植物的胚珠在受精后还要接受一段时间的营养；因此花粉必然要被带到雌性器官——依靠昆虫或风力，要不就是依靠柱头的自发的运动，把花粉置于柱头之上；在藻类等植物中则依靠游动精子的运动能力。体制低的水生动物类永久着生于同一地点而且是雌雄异体，其雄性生殖要素总是始终不变地被运给雌者；我们不难看出这里面的原因，这是由于即使卵在受精前就被排出体外，并且不需要随后的营养和保护，但因为卵大于雄性生殖要素，而且产生的数量远比后者为少，所以卵的运送仍然要比雄性生殖要素的运送困难得多。因此，许多低等动物在

① 《观测报告和论文集》(Essays and Observations)，欧文(Owen)编，第1卷，1861年，194页。

这方面和植物是相似的①。固定于一个地点的水生动物的雄者就是被引导沿着上述那个途径放出它们的精子,自然,任何它们的后裔在等级上上升了并变为能动的以后,还会保持这同样的习性;为了避免精子在经过水中较长一段路程中受到损失的风险,它们就会尽可能地接近雌者。有些少数低等动物,仅是雌者固定不动,这等动物的雄者必定是异性的寻求者。但难于理解的是,为什么一些物种的雄者尽管其原始祖先是自由活动的,也总是获得向雌者接近的习性,而不是反过来雌者向雄者接近。但在所有场合中,为了雄者能有效地进行寻求,赋予它们以强烈的激情就成为必要的了;而更热切的求偶者比不太热切的求偶者留下数量较多的后代这一情况,自然会引致这等激情的获得。

雄者强烈的热切求偶,就这样间接地导致它们发展其次级性征比雌者更加常见得多。但是,雄者如果比雌者更容易发生变异,则其第二性征的发展大概就会得到很大帮助——我经过长期间对家养动物的研究得出了这个结论。阅历很广的冯·纳图西亚斯也强烈地持有同样观点②。从人类男女两性的比较中也可得出支持这个结论的有力证据。在诺瓦拉地方探险期间③,曾对不同种族身体的好多部位进行了大量测量,几乎在每个例子里都发现男人比女人显示了更大的变异范围;但我将在下一章再回头来论述这问题。伍德先生④曾仔细观察过男人肌肉的变异,他强调作出如下结

① 萨克斯(Sachs)教授《植物学理论》(Lehrbuch der Botanik,1870,633页)在谈到雄性和雌性的生殖细胞时说道,"其一在结合时是自动的,另一在结合时似为被动的。"

② 《关于家畜饲养的报告》(Vortrage über Viehzucht),1872年,63页。

③ 《诺瓦拉游记》(Reise der Novara):人类学部分,1867年,216—269页。魏斯巴赫(Weisbach)博士根据希和泽和许瓦茨二位博士的观测材料计算出来的结果。关于雄性家养动物具有较大的变异性,参阅我的《动物和植物在家养下的变异》,第2卷,1868年,75页。

④ 《皇家学会会报》,第16卷,1868年7月,519和524页。

论，“每具尸体上最大数量的肌肉变态都是在男人身上发现的。”在此之前，他曾谈过，“在所有102具尸体上，女人身上所发现的肌肉多余部分的变异只为男人的一半，这一情况同以前所描述的女人较多出现肌肉不足的情况形成了鲜明对照。”麦克利斯特博士也同样谈到[①]男人肌肉的变异“大概要比女人更常见。”人类身上所反常出现的某些肌肉，也是在男性身上比在女性身上更为发达，更加常见，虽然关于这个规律据说也有例外。伯特·怀尔德博士[②]将152个有多余指的人的例子列成表，其中86个是男人，39个，或少于半数是女人，剩下的27个则性别不明。然而，不应忽略女人要比男人更爱掩盖这类生理缺陷。此外，迈耶博士断言男人的耳朵在形态上比女人更易变异[③]。最后男人的体温比女人更容易变化[④]。

雄性具有较大的一般变异性，其原因尚属不明，所知者只是第二性征特别容易变异，而且这种变异通常只限于雄者，我们即将看到，这个事实在某种程度上是可以理解的。很多事例说明，通过性选择和自然选择使雄性动物不大相同于雌者；但是，不依赖选择作用，雌雄二者由于体质上的差异也有按照多少不同的方式发生变异的倾向。雌者在生成卵的时候势必要消耗大量有机物质，而雄者则要把大量精力用于同竞争对手进行剧烈斗争，用于到处寻求雌者，用于呼叫声，用于散发气味的分泌物，等等；但这种消耗一般只集中于一个短时期。雄者在求爱季节的巨大活力似乎常常致使其

---

① 《爱尔兰皇家学会会报》，第16卷，1868年7月，519和524页。

② 《马萨诸塞医学会会刊》第2卷，第3期，1868年，9页。

③ 《病理学、解剖学和生理学文献集》（*Archiv für Path. Anat. und Phys.*）1871年，488页。

④ 斯托克顿·霍夫（J. Stockton Hough）博士最近关于人类体温所做的结论见《通俗科学评论》，1874年1月1日，97页。

色彩加强，而这同任何区别于雌者的显著差异并无关联①。在人类中，甚至在有机界等级上那样低的鳞翅目昆虫，其雄者的体温都高于雌者，此外还伴随着男人的脉搏较慢②。从总的方面来看，雌雄二者在物质上和精力上的消耗大概是接近相等的，但其消耗的方式和速率却大不相同。

由于刚才详细说明的那些原因，雌雄二者的体质几乎多少都有所不同，至少在生殖季节是这样；而且，虽然它们可能处于完全一样的条件下，却有按照不同方式发生变异的倾向。如果这等变异对任何一性都无用处，就不会被性选择或自然选择所积累和加强。尽管如此，如果激发的原因持久地起作用，这等变异还会成为永久性的；并且按照遗传上一种常见的形式，这等变异首先在哪一性别发生就只会传递给哪一性别。在这样场合中，雌雄二者将呈现永久性的，但不重要的性状差异。例如，艾伦先生阐明，就居住在美国北部和南部的大批鸟类来看，得自南部的标本，其羽色比得自北部的标本较深；这大概是由两个地区的气温、光线等等差异直接造成的结果。且说，有某些少数事例表明，同一物种的雌雄二者所曾受到的影响好像有所不同；红翼椋鸟的雄者在南部其羽色大大加深了；相反地，关于北美红雀受到了这样影响的却是雌者；关于欧洲山鹑，雌者的色彩极易变异，而雄者的色彩则几乎保持一致③。

许多纲的动物也出现了少数例外：获得十分显著第二性征的——诸如鲜艳的色彩、较大的体型、体力或好斗性，是雌者，而不是

① 曼特加沙（*Mantegazza*）教授认为（《致达尔文先生的一封信》，见《人类学文献集》Archivio per l'Anthropologia，1871 年，300 页），许多雄性动物常见的鲜艳色彩是由于它们产生并保存了精液的缘故；但这情况简直是不可能的，因为许多公鸟如小公雉在它们出生第一年的秋季其色彩就变鲜艳了。

② 关于人类，参阅霍夫博士的结论，见《通俗科学评论》，1874 年，97 页。参阅吉拉德（Girard）关于鳞翅目的观察材料，见《动物学记录》（*Zoological Record*），1869 年，347 页。

③ 《佛罗里达的哺乳类和鸟类》，234、280、295 页。

雄者。关于鸟类，雌鸟和雄鸟所特有的正常性状有时会完全倒置过来；是雌鸟在求偶时变得更热切，而雄鸟则比较被动，但我们可以从求偶的结果推断，雄鸟仍明显地选择魅力较强的雌鸟。某些雌鸟就是这样获得了更鲜艳的色彩或别的装饰，也获得了比雄鸟更大的力量和好斗性；而这些性状只传给其雌性后代。

可以这样认为：在某些场合中曾经进行了一种双重的选择过程；这就是雄者选择魅力较强的雌者，而雌者也选择魅力较强的雄者。然而，这种过程虽然会导致雌雄二者都发生改变，却不会使某一性别同另一性别产生差异，除非二者的审美力确实不一样；但这是极不可能的一种假设，除人类以外，对任何动物来说都没有考虑的价值。不管怎样，还有许多动物的雌雄二者彼此类似，具有同样的装饰，根据类推，我们可以把这种情形归因于性选择的力量。在这样场合中，可以提出一个似乎比较说得通的假设，即有一种双重的或交互的性选择过程存在；那些精力较充沛和较早熟的雌者选择魅力较强和精力较充沛的雄者，而后者除了那些魅力较强的雌者之外，拒绝接受其他任何对象。但根据我们所了解的动物习性来看，这个观点几乎是不可能的，因为雄者一般都热切于同任何一个雌者交配。对于雌雄二者所共有的装饰，比较可能的解释是，这种装饰是由某一性别、一般是由雄性获得的，然后传递给雌雄二者的后代。如果任何一个物种的雄者在一个相当长的时期内确实远远超过雌者的数量，然后在另一个相当长的时期内，由于条件的改变，却出现了相反的情况，那么一种双重的但不是同时发生的性选择过程就会易于进行，从而使雌雄二者大不相同。

我们以后会知道有许多动物，其雌雄二者都没有鲜艳的色彩，也不具备特别的装饰，而通过性选择双方或只有其中一方的成员很可能获得像白色或黑色那样的简单色彩。上述这些动物没有鲜艳的色彩或其他装饰可能是由于正常的变异从未发生，也可能是因为它们本身就喜欢全白或全黑的颜色。暗淡不鲜艳的色彩常常

是为了保护自己，通过自然选择而发展起来的；通过性选择所获得的鲜明色彩，有时似乎会因此招来危险而受到抑制。但在其他场合中，雄者在悠久的年代中可能为了占有雌者而互相斗争，但是，除非那些成功较大的雄者比成功较小的雄者留下数量更多的后代以遗传它们的优越性，否则就不会产生任何效果；如上所述，这要取决于许多复杂的偶然性。

性选择的作用方式不像自然选择那样严峻。自然选择所产生的效果，不论动物的年龄，将会使成功的个体生存，使不成功的个体死亡。在雄者进行竞争的互相冲突中所造成的死亡确不少见。但是，较少成功的雄者一般仅是得不到雌者，或是在生殖季节的后期得到一个发育迟缓而精力不充沛的雌者，再不然，如果它们是多配性的，就只能得到为数较少的雌者；因此它们留下来的后代数量较少而且精力不充沛，甚至绝了后代。关于通过正常选择即自然选择所得到的那些构造，只要生活条件保持不变，在大多数情况下，其与某些特殊用途有关的有利变异量都有一个限度；但是关于使某一雄者在斗争中或对雌者献媚中胜过另一雄者的那些构造，其有利变异量就没有明确的限度；所以只要这种适宜的变异性一旦发生，性选择的工作就不会停止。这个情况也许可以部分地说明第二性征何以如此频繁地发生变异，而且其变异量又何以如此之大。尽管如此，如果这些性状由于过分消耗动物的生命力，或者由于把它们暴露在任何巨大危险之下而是高度有害的话，那么自然选择还会决定优胜的雄者不致获得这等性状。然而，某些构造——例如某些公鹿的角——还是发达到令人吃惊的极端；在某些场合中，就一般生活条件来说，趋向极端对于雄者一定略有危害。根据这一事实我们认识到，由于在战斗或求偶时战胜了其对手因而留下了大量后代所带给那些雄者的利益，到头来要比由于对生活条件更能完善适应所带来的利益为大。我们还将进一步看到，雄者取媚于雌者的力量有时要比在战斗中战胜其他雄者的力量更为重要，这是多

么出乎我们预料到一种情况啊。

遗传规律

为了理解性选择如何作用于许多纲的许多动物，以及如何在世世代代的过程中产生出一种显著的结果，就必须记住那些已被发现的遗传规律。“遗传”这个术语包含有两个不同的要素——性状的传递和性状的发育；但由于二者一般是相伴进行的，因此它们的区别就往往被忽略了。我们可从那些在生命早期进行传递而只在成年期成老年期才发育完成的性状上见到这二者的区别。我们从第二性征上可以更清楚地看到这种区别，因为这些性状是通过雌雄双方传递下去的，但只在其中一方发育。当两个具有强烈显著性征的物种进行杂交时，这些性征存在于雌雄双方的情况就显而易见了，这是因为雄性亲本或雌性亲本都会把各自特有的那些性征传递给任何一性的杂种后代。当雌者年老或得病时，偶尔也会发育出雄者所特有的那些性征，例如普通母鸡呈现公鸡的飘垂尾羽、颈部纤毛、鸡冠、脚距、鸣叫，甚至还会呈现公鸡的好斗性，在这里，上述同样的事实也是显而易见的。反过来，关于去势的公鸡，也多少可以清楚看到同样的现象。此外，同年老或得病无关，雄者的有些性征偶而也会传递给雌者，如在鸡的某些品种中，健康的小母鸡会经常地呈现公鸡的距。但是，事实上这些性征只不过是在母鸡身上得到发育而已；因为在每个品种中，脚距的各个细微构造都是通过雌者传递给其雄性后代的。以后还要举出许多事例来说明雌者多少完整地显示出雄者所特有的性征，这些性征必然是最先在雄者身上发育的，然后再传递给雌者。至于在雌者身上最先发育的那些性征被传递给雄者的相反事例不大常见；因此举出一个显著的事例，将是有益的。关于蜜蜂，只有雌蜂才用采集花粉的器官为幼虫采集花粉，但在大多数物种中，这种器官在雄蜂身上也部分地得

到发育，但这对它却毫无用处，在雄熊蜂身上这种器官则得到了完全的发育①。虽然我们有某种理由去猜想雄性哺乳动物在原始时期同雌性哺乳动物一样也给幼仔喂奶，但由于其他任何膜翅目昆虫、甚至同蜜蜂有密切亲缘关系的小胡蜂都不具有花粉采集器，所以我们没有根据去假定雄蜂在原始时期也曾同雌蜂一样地采集花粉。最后，在返祖的所有场合中，性状的传递是经过两代、三代或更多的世代，然后在某种未知的有利条件下发育起来。靠泛生说的帮助，我们将会把性状的传递和性状的发育二者之间的这种重要区别牢牢记住。按照这个假说，身体每个单位或每个细胞都会放出芽球、即未发育的微粒，它们被传递给雌雄二者的后代，并且依靠自体分裂而成倍地增加。它们在生命的早期或在连续的世代内保持不发育状态；它们是否会发育成像其所来自的那样的单位或细胞，则取决于在生长的正常次序中同先前发育的其他单位或细胞的亲和力和结合。

在生命相应时期的遗传性

这种倾向已经完全得到证实。一只幼年动物身上出现的一个新性状，不管它是保持终生或转瞬即逝，一般都将在后代的同一年龄中重现并保持同样的时间。另一方面，如果一个新性状出现于成年、甚至老年，它就倾向于在同样老的年龄中重现。一旦发生偏离这个规律的情况时，被传递的性状的出现早于相应年龄要比晚于相应年龄更加常见。由于我已在另一著作中充分讨论了这个问题②，因此，我只准备在这里举出二三事例以唤起读者对这两个问

① H.米勒，《达尔文学说在蜜蜂中的应用》，见《动物比较解剖学年刊》，第24卷，42页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，1868年，75页。在例数第2章里曾对上述泛生论的假说作过充分解说。

题的回忆。在鸡的若干品种里，全身披着绒毛的雏鸡，最初长出真羽毛的小鸡，以及成年鸡，彼此都有重大差异，就像它们同其共同亲类型原鸡之间的差异一样。每个品种都把这些性状在其生命相应时期忠实地传递给后代。例如汉堡亮斑鸡的雏鸡当初生绒毛时，头部与臀部只有少数黑暗点，但不像许多别的品种那样，呈现纵条纹；它们长出的第一批真羽毛，“具有美丽的线纹”，这就是说，每根羽毛都有无数的横条斑；但它们的第二批羽毛就全部生有亮晶晶的斑点，即每支羽端都具有一个黑色的圆点①。因此这个品种的变异是在三个不同生命时期中发生和传递的。鸽类提供了一个更为显著的例子，因为作为原始祖先的亲种除了在成年期胸部虹色变得较深之外，并不随着年龄的增长发生羽毛变化；但仍然还有些品种不换两三次甚至四次羽毛就不会获得它们所特有的色彩；羽毛的这些变异都是有规则地被传递下去的。

在一年相应季节出现的遗传性

关于生活在自然状况下的动物，有无数事例说明性状是在不同季节中定期出现的。我们从雄鹿的角可以看到这一点，从北极动物的毛在冬季变厚变白的现象也可以看到这一点。许多鸟类仅在生殖季节获得鲜艳的颜色和其他的装饰。帕拉斯②说，西伯利亚家养的牛和马到冬季颜色变淡；我本人也曾观察过并听说过关于颜色的类似强烈显著变化，那就是英国有些驮马从褐黄色或红褐色

① 这些事实是根据一位大饲养家蒂贝(Teebay)先生的材料提出来的，见特格梅尔(Tegetmeier)的《家禽手册》(Poultry Book)，1868年，158页。以下一节所提到的有关不同品种小鸡的性状以及鸽子的品种，参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，160页、249页；第2卷，77页。

② 《关于四足兽的新种》(Novae species Quadrupedum e Glirium ordine)，7页。关于马的毛色的传递，参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，51页。第2卷71页上有关于“限于性别的遗传性”的一般探讨。

变成全白色。虽然我不了解在不同季节皮毛颜色发生变化的这种倾向是否会传递下去，但可能就是这样，因为各种浓淡的毛色都可以被马强烈地遗传下去。这种受季节限制的遗传形式，并不比受年龄和性别限制的遗传形式更加显著。

限于性别的遗传性

性状相等地传递给雌雄二者是遗传的最普通形式，至少那些不呈现强烈显著性差异的动物是这样，许多这类动物确实采取了这种遗传形式。但最先在某一性别身上出现的那些性状，多少都是一般地被传递给那一性别。我在《在家养下的变异》一书中已经提出过有关这个问题的充分证据，然而这里不妨再举少数几个例子来说明。有些绵羊和山羊的品种，其公羊的角在形态上同母羊的角大有差异；在家养下所获得的这些差异有规则地传递给同性后代。猫通常只有母的是玳瑁色的，而公猫相应的颜色则是锈红色的。在大多数家鸡品种中，每一性别所特有的性状只传递给相同的性别。性状传递的这种形式是如此普遍，以致一旦出现某些品种的变异相等地传递给雌雄双方的情况时，反而成了一种反常的现象。还有某些家鸡的亚品种，其公鸡几乎无法区别，而母鸡的颜色则明显不同。原种岩鸽的雌雄二者在外部性状上并无差别；尽管如此，某些家养品种的公鸽羽色还和母鸽羽色有所不同①。英国信鸽的垂肉和突胸鸽的嗉囊在雄者比在雌者更加高度发育；这些性状虽是通过人类长期选择而被获得的，但雌雄二者之间的轻微差异则完全

① 夏普伊(Chapuis)博士《比利时信鸽》(Le Pigeon Voyageur Belge)，1865年，87页。布瓦塔尔和科尔比(Boitard et Corbie)，《家鸽》(Les Pigeons de Volière)，1824年，173页。关于摩德纳地方某些品种的同样差异，再参阅《家鸽的变异》(Le variazioni dei Colombi domestici)，保罗·旁尼兹(Paolo Bonizzi)著，1873年。

是由于发生作用的遗传形式，因为这些轻微差异的发生与其说是出于育种者的愿望，莫如说是违背了育种者的愿望。

大多数我们的家养族都是通过轻微变异的积累而形成的；由于有些后续的变异步骤只传递给一性，还有些后续的变异步骤则传递给雌雄两性，因此在同一物种的不同品种中，从雌雄二者极不相似到完全相似之间，可以发现所有的级进。我们已经举出有关家鸡和家鸽诸品种的事例，在自然界里也常常见到类似的情况。关于家养动物，某一性别可能失去其特有的性状而多少变得同另一性别相似，例如，有些家养品种的公鸡失去雄性的尾羽和颈部纤毛，至于自然界的动物是否也有这种情况我不敢乱说。另一方面，在家养下雌雄二者之间的差异可能加大，如母的美利奴绵羊已失去了它们的角。此外，某一性别所特有的性状还会在另一性别突然出现；如有些家鸡亚品种，其年幼的母鸡有距；又如某些波兰鸡亚品种，有理由可信其母鸡原来获得了冠羽，随后又将它传递给了公鸡。根据泛生论假说，所有这些情况都是可以理解的；因为，所有性状都取决于下述情形，即，某些部分的芽球虽存在于雌雄二者，但通过家养的影响，它们在这一性别或那一性别中变为潜伏的或发育的。

为了方便起见，把下面的一个难题安排在以后的一章来讨论较为合适，这就是，最初在雌雄双方都发育的一种性状，是否会通过选择限于只在某一性别中发育。举例来说，如果某个育种者观察到他的一些鸽子（它们的性状通常都是以同等的程度传递给雌雄双方）变为蓝灰色，那么他能否通过长期持续的选择形成一个只是公鸽具有这种颜色而母鸽保持原色的品种呢？我在此只能说，做到这一点虽然并非不可能，但将是极端困难的。因为以蓝灰色公鸽进行繁育的自然结果将使整个类族的雌雄双方都变成这种颜色。然而，如果人们所希望的颜色变异出现了，而且这种变异一开始就限于在雄者一方发育，那么要形成一个雌雄颜色不同的品种，就一点

也没有困难，例如一个比利时品种确实就是这样形成的，只是这个品种的公鸽才具有黑色条纹。同样，如果有一只母鸽发生了任何变异，而且这种变异从一开始就限于在母鸽身上发育，那么要培育出一个只有母鸽才有这种特性的品种也很容易，但是如果这种变异从一开始就没有上述这样的性别限制，那么这一过程将极难实现，甚至不可能实现①。

性状的发育时期同该性状向某一性或向雌雄两性传递的关系

为什么某些性状会遗传给雌雄二者，而另外一些性状只遗传给某一性别，即遗传给最初出现这种性状的那一性别，在大多数场合中其原因还是完全未知的。我们甚至无法猜想，为什么在鸽子的某些亚品种中其黑色条纹虽然通过母鸽传递下去，却只在公鸽身上发育，而另一方面其他每个性状又是相等地传递给雌雄双方。另外，为什么猫的龟甲色除了很少例外只在雌者身上发育。就人类而言，完全同样的性状如缺指、多指、色盲等等，在某一家族中只遗传给男性，而在另一家族中则只遗传给女性，虽然在这两种情况下，通过相反性别或通过相同性别传递都是一样的②。我们虽然这样无知，但知道有两条规律似乎往往是适用的——即任何一性在其生命晚期最初出现的变异就有只在这相同一性别进行发育的倾向；另一方面，任何一性在其生命早期最初出现的变异就有在雌雄

① 自从本书第一版问世以后，我感到高兴的是见到了特格梅尔(Tegetmeier)先生这么有经验的育种家的下述见解(《田野》(Field)，1872年，9月)。他描述的一些奇妙事例表明，有些鸽子的羽色传递只限于一性，并且形成了一个具有这种性状的亚品种，然后他又说，"达尔文先生提出了用人工选择的方法改变鸟类性别的颜色的可能性，当他这么做的时候，并不知道我所提到的这些事实，然而值得注意的是他提出了多么符合实际程序的正确方法。"

② 参阅我著的《动物和植物在家养下的变异》第2卷，72页。

双方都进行发育的倾向。然而，我决不是假定这就是唯一的决定原因。鉴于我没有在任何地方讨论过这问题，鉴于这个问题对于性选择的重要意义，我必须在此对一些冗长而有些复杂的细节加以论述。

事物的本身存在这种可能性，即在幼年出现的任何性状都有相等地遗传给雌雄双方的倾向，因为雌雄二者在性成熟之前，它们的体质并没有多大差异。另一方面，在性成熟之后，雌雄二者的体质已发生了差异，那么，从某一性别的各个变异着的部分释放出来的芽球（如果我可以再次使用泛生说的术语的话），将和同一性别的组织相结合并由此发育起来，这种和同一性别的固有亲和力比和相反性别的亲和力远远更加可能发生。

最初我根据以下事实来推论有这种关系存在，即成年雄者同成年雌者无论何时并且无论以何种方式有所差异，则雄者也按照同样方式而有别于雌雄二者的幼仔。这个事实的普遍性十分显著：它适用于差不多所有的哺乳类、鸟类、两栖类和鱼类，同样也适用于许多甲壳类、蜘蛛类以及少数昆虫类，如某些直翅目和蜻属昆虫。在所有这样场合中，凡是雄者通过变异的积累而获得其特有性状者其变异一定是在生命的稍晚时期发生的；否则年幼的雄者也会具有同样的特性；而且同上述规律相符合，这等变异只向成年雄者传递，也只在成年雄者发育。另一方面，要是成年雄者同雌雄双方的幼仔密切类似（除了很少例外，雌雄双方的幼仔都彼此相像），则雄者一般也同成年雌者类似；在大多数这样场合中，凡是老者和幼者通过变异而获得其现有性状者，按照上述规律，这等变异大概是在幼年时期发生的。但这里还有可疑的余地，因为有时性状传递给后代时的年龄要比父母最初出现该性状时年龄为早，因而父母在成年时发生变异，而在幼年时将它们这等性状传递给后代。还有许多动物，其雌雄二者彼此密切类似，但二者都同各自的幼仔有别，这时，成年动物的那些性状一定是在生命晚期获得的；尽管如

此，这些性状还是传递给雌雄双方，这显然同上述规律相矛盾。我们千万不要忽视出现下述情况的可能性甚至必然性，即在相同的生活条件下发生的相同性质的连续变异会在生命相当晚的时期同时出现于雌雄双方；在这样场合中，这些变异将在相应的晚年传给雌雄双方；这样，就与上述规律并无真正的矛盾，即，凡是在生命晚期出现的变异都专门传递给最先发生该变异的那一性别。这一规律的适用范围似乎比第二个规律更为普遍，后面这个规律表明任何一性在生命早期出现的诸变异都有传递给雌雄双方的倾向。在整个动物界中究竟有多少事例可适用这两个定理，仅仅对此作个估计也显然是不可能的，因此，我认为只能对一些显著的或有决定意义的事例加以研究，以便得出可以依据的结果。

鹿科提供了进行研究的极好例子。除了一个物种外，在所有物种中，只有公鹿生角，虽然这个性状肯定是通过母鹿传递下去的，而且能在母鹿头上出现反常的发育。另一方面，母驯鹿①也生角；因此按照上述规律，这个物种的角应该远在雌雄二者成熟并呈现体质重大差异之前的生命早期出现的。其他所有物种的角则应该在生命较晚时期出现，从而导致它们的发育只限于一性，这正是整个鹿科祖先最初生角的那一性别。现在属于鹿科不同组的、并且居住在不同地区的七个物种只有公鹿生角，我发现角的最初出现时期不同，公獐出生后 9 个月生角，其他六个体型较大的物种的公

① 即 *Rangifer tarandus*，属反刍偶蹄类，鹿科。产于亚、美、欧三洲的北极地，栖地愈北者体驱愈大。雌雄皆有角，雄者角大，长达五尺左右，角顶生支，枝端扁平如掌。雌者角较小、分支亦少。原系野生，性易驯，北极人民多养之，教以曳橇，行进甚速。驯鹿的化石多产于欧洲洪积层，角多分支，其断面为椭圆形。——译注

鹿，最初生角时期在出生后 10 个月、12 个月、甚至更长的时间[1]。但驯鹿的情况就大不一样，因为奈尔森博士热心地在瑞典的拉普兰为我作了专门调查，他说，出生后四五个星期以内的幼鹿就生角，而且同时出现于雌雄双方。因此我们这里看到鹿科的一个物种的一种构造在生命最早时期的发育，而且只有这一个物种的雌雄二者都生角。

有几种羚羊，只有公羊生角，而更多种类的羚羊则雌雄都生角。关于角的发育时期，布赖茨先生告诉我说，动物园里的一头幼南非条纹羚羊有一次生角，但只限于雄者；还有一个亲缘关系密切接近的物种——南非大羚羊，它的小羊无论雌雄都生角。这一情况同上述规律完全符合，即，南非条纹羚羊的小公羊虽然已 10 个月，但从它最终的角的大小看来，那时的角显得很小；另一方面，南非大羚羊的小公羊虽然只有 3 个月，它的角都比前者的角大得多。在叉角羚羊[2] 中还有一个值得注意的事实，即只有少数母羊，约 1/5 有角。她们的角有时虽也有 4 英寸长，但都处于残迹（退化）状态；因此，要是只就公羊才生角这一点来考虑，则这个物种是处于中间状态的，而且它们的角大约要在出生后 5 至 6 个月才长出来。因此，同我们还不太清楚的其他羚羊类的角的发育情况相比，并且根据我们已经清楚的关于鹿、牛等动物的角的发育情况，就可看出叉

---

① 我很感激卡波勒斯（Cupples）先生为我向布雷多尔本侯爵夫人（Marquis of Breadalbane）手下的有经验的首席林务官罗伯逊（Robertson）先生作了有关苏格兰的公獐和马鹿（red deer）的调查。我感谢艾顿（Eyton）先生以及其他人士为我提供了有关黇鹿（fallow-deer）的材料。关于北美的一种驼鹿（*Cervus alces*），见《陆地与水》（Land & Water），1868 年，221 和 254 页；有关该大陆的 *C. Virginianus* 和 *C. strongyloceros*，参阅凯顿（J. D. Caton）的文章，见《渥太华学院自然科学学会会报》，1868 年，13 页。关于勃固（Pegu）的 Cervus Eldi，参阅比万（Beavan）中尉文章，见《动物学会会报》，1867 年，762 页。

② 学名为 *Antilocapra americana*。我感谢坎菲尔德（Canfield）博士提供的有关母鹿的角的材料；另参阅他在《动物学会会报》发表的文章（1866 年，109 页）。还有再参阅欧文的《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，627 页。

形角羚羊的角是在生命的居中时期出现的，——换句话说，既不像牛和绵羊那样早，也不像大型的鹿和羚羊类那样晚。绵羊、山羊和牛的角，在雌雄双方其大小虽不完全一样，但都发育良好，在它们出生时，或刚出生后不久，就可以摸到甚至看到①。然而，上述规律对于绵羊的某些品种，例如美利奴绵羊似乎就不适用了，在这个品种中只有公羊生角；因为我在调查中②，未能发现这个品种的角的发育时期晚于雌雄二者都生角的普通绵羊。但是，就家养绵羊来说，有角或无角并不是一种十分固定的性状，因为美利奴绵羊有一定比例的母羊也生短角，有些公羊却不生角，在大多数品种中偶尔也会产出无角母羊。

马歇尔博士最近对鸟类头上常见的突起作了专门研究③，得出以下结论；——凡是头上突起只限于公鸟的那些物种，该性状是在生命晚期发育的；凡是头上突起为雌雄二者所共有的那些物种，该性状是在生命很早时期发育的。这一结论肯定同我的上述两项遗传定律显著符合。

在美丽的雉科大多数物种中，公雉和母雉显著不同，公雉翎在相当晚时才出现。然而，蓝马鸡提供了一个明显的例外，因其雌雄二者都有尾羽、耳簇毛，而且头部都有深红的天鹅绒般的软毛；我发现这些性状出现都比较早，与上述遗传规律相符。但其成年公鸡

① 我确信北威尔斯绵羊的角在出生时完全可以觉察到，有时竟长达1英寸。尤雅特(Youatt)说(《牛》，1834年，277页)牛在出生时其额骨突起已穿入表皮，角质物很快在其上形成。

② 我非常感激维克托·卡鲁斯(Victor Carus)教授为我向最高权威人士作了有关萨克森的美利奴绵羊的调查。然而非洲几内亚海岸有一个绵羊品种，同美利奴绵羊一样，只有公羊才生角；而温伍德·里德先生告诉我说，他看到过的一个例子表明，一只小公羊产于2月10日，在3月6日就初现羊角，此例同上述规律相符，其角的出现晚于雌雄二者皆生角的威尔斯绵羊。

③ 《鸟类头骨的骨质突起》(Ueber die knöchernen Schädelhöcker der Vögel)，见《荷兰的动物学文献》(Niederlandischen Archiv für Zoologie)，第1卷，第2册，1872年。

可根据脚距同成年母鸡区别开来，而且同我们的规律相符的是，这些距要到出生 6 个月后才会开始发育，然而巴特利特先生向我确言，即使在这个龄期也几乎无法把雌雄二者区别开来[①]。公孔雀和母孔雀除了共有的华丽冠毛之外，几乎每一部分的羽毛都明显不同；而冠毛是在生命的很早时期发育的，它的发育远在公孔雀所专有的其他装饰物的发育之前。野鸭也有类似情况，母鸭翅上美丽的绿色灿点虽然比公鸭小些，模糊些，但由于这个性状是二者所共有的，因而它的发育是在生命的早期，另一方面，公鸭的卷曲尾羽和其他装饰物则要在较晚的时期才发育[②]。在蓝马鸡那样的雌雄二者非常相像和孔雀那样的雌雄二者极不相像的两类极端事例之前，还可以举出许多中间性的事例，在这些事例中性状的发育顺序是遵循上述那两条规律的。

由于大多数昆虫都是在成熟条件下才从蛹羽化出来，因此发育周期是否能决定性状向性别一方或是双方进行传递，尚无法确定。例如两种蝴蝶，一个雌雄颜色不同，另一个雌雄颜色则一样，但我们不知道这两种的有色鳞粉是否在同一个相应蛹期发育的。我

① 普通孔雀(*Pavo cristatus*)只有公的有距，而爪哇绿孔雀(*P. muticus*)提供了一个反常事例，即公的、母的都有距。因此我完全预料到后面这个物种的距在发育时期上要早于普通孔雀；但阿姆斯特丹的赫格特(M. Hegt)告诉我说，1869 年 4 月 23 日曾对上一年出生的这两个物种的雏鸟作了比较，它们距的发育方面没有差别。然而它们的距至今只表现为小瘤或突起。我认为以后如果观察到发育速率有什么不同，我一定会得到这方面的报告。

② 在鸭科的一些其他物种中，公鸭和母鸭羽毛灿点的差别更大；但我未能发现这些物种的公鸭羽毛灿点的充分发育时期是否晚于普通野公鸭，按照我们的规律，应该如此。然而，有一个亲缘关系相近的物种秋沙鸭(Mergus cucullatus)的情况就是这样：雌雄二者不仅在一般羽衣上差异显著而且在羽毛灿点上也有相当大的差异，公鸭的羽毛灿点是全白色的，母鸭的羽毛灿点则是灰白色的。小公鸭最初同母鸭完全相似，其羽毛灿点也是灰白色的，这些灿点变为纯白色的时期要在成年公鸭获得其他更加强烈显著的性差异之前。参阅奥杜旁(Audubon)的《鸟类志》(Ornithological Biography)，第 3 卷，1835 年，249—250 页。

们也不知道全部有色鳞粉是否同时在同一个蝴蝶种的翅上发育的，在这个蝴蝶种中，某些色斑只为某一性别所具有，还有一些色斑则为两性所共有。发育时期的这种差异最初看来好像很不可能，其实并非如此；因为直翅目昆虫达到成熟状态并不是单单由于一次变态，而是由于连续的蜕皮，有些物种的幼龄雄虫最初同雌虫相像，而只是在稍晚的一次蜕皮中才获得其明显的雄性性状。某些雄性甲壳类在连续蜕皮的过程中也出现了完全相似的情况。

到现在为止，我们只考察了同发育时期有关的性状传递，而且所涉及的只是处于自然状况下的物种的性状传递；现在我们要转来谈谈家养动物，而首先要提到的是畸形和疾病的问题。多余指的出现和某些指骨的缺如，必定在很早的胚胎期就被决定了——大量出血的倾向至少是先天性的，色盲大概也是如此——但这些特性以及其他相似特性的传递往往只限于一性；因此早期发育的性状倾向于传递给雌雄双方的这条规律在这里就完全不适用。但是，如上所述，这一条规律似乎不如相反的那一条规律普遍有效，后者表明，在某一性别的生命晚期出现的性状，专门传递给同一性别。上述不正常的特性远在生殖机能活动之前就已为某一性别所具有，根据这个事实，我们可以推论雌雄二者一定早在极幼小的时期就已经有了某种差异。关于受到性别限制的疾病，我们对其发生的时期了解甚少，以致难于作出可靠的结论。然而痛风病似乎受我们的规律的支配，因为这种病一般是在成年时由酗酒造成的，并且由父亲传给了子女，而在儿子方面远比在女儿方面表现得显著。

关于绵羊、山羊和牛的各个家养品种，雄者在角、额、鬃毛、颈部垂肉、尾和肩上隆肉的形状及其发育情况方面都和雌者有所不同；按照我们的规律，这些特性不到生命相当晚的时期是不会充分发育的。狗类没有雌雄差异，但某些品种是例外，特别是苏格兰猎鹿狗，其雄者比雌者大得多，重得多；而且我们将在后面一章看到，雄者的体型会持续增长到生命很晚的时期，按照上述规律，这个情

况将说明这种体型的增长只传给雄性后代。另一方面，只限于母猫才有的龟甲色在其出生时就十分明显，这个情况是违背上述规律的。有一个鸽子的品种，只是公鸽具有黑色条纹，这些条纹甚至在雏鸽身上就可以察觉出来；但这些条纹随着每次换毛而日益明显，从而这个情况既是部分地违背了又是部分地证实了上述规律。英国信鸽和突胸鸽的垂肉和嗉囊都是在生命的相当晚期才充分发育的，同上述规律相符合，这等性状充分完善地只传递给公鸽。下面的例子也许属于前面提到的那一类，即雌雄二者在生命的相当晚期以同样的方式发生变异，从而在相应的晚期将其新性状传递给后代的雌雄双方；果真如此，这些情况同我们的规律并不矛盾：——根据诺艾迈斯特的叙述①，有这样一些鸽子的亚品种，其雌雄二者都在两三次换毛期间改变毛色（杏色翻头鸽也是这样），这等变化虽发生于生命的相当晚期，却为雌雄双方所共有。有一个金丝雀的变种，名为"伦敦获奖者"，提供了一个很近似的例子。

关于家鸡的品种，其种种性状是由一性遗传下去，还是由两性遗传下去，似乎一般是由这些性状的发育时期来决定的。这样，在所有这许多品种中，如果成年公鸡在毛色上同母鸡有重大差异，而且同野生亲种也有重大差异，那么成年公鸡也会同小公鸡有差异，所以新获得的性状一定是在生命的相当晚期出现的。另一方面，在公鸡和母鸡彼此类似的大多数品种中，小鸡的毛色则同其双亲的差不多一样，因此，它们的毛色最初出现于生命的早期。我们在全黑和全白的品种中可以看到这个事实的例证，这些品种的雌雄小鸡和老鸡都彼此相似；我们也不能主张全黑的或全白的羽毛有什么特殊之处可以导致这种性状传递给雌雄双方；因为有许多野公鸡的羽色是黑的或白的，而母鸡则是别种颜色的。有一个叫作"杜

① 《鸽类饲养通论》(Das Gauze der Taubenzucht)，1837 年，21，24 页。关于有条纹的鸽子，参阅夏普伊的《比利时信鸽》，1865 年，87 页。

鹃鸡"的亚品种，它的羽毛具有黑色横条纹，其雌雄双方和小鸡的毛色几乎都一样。塞勃赖特短腿鸡的雌雄二者都具有花边羽衣，小鸡的翅羽花边虽不完善，但很明显。然而亮斑汉堡鸡提供了一个局部例外的情况；因为其雌雄二者虽不完全相像，但比起原始亲种的雌雄二者，彼此更加相像得多；然而它们的特有羽衣是在生命晚期获得的，因为小鸡也具有明显不同的彩色条纹。至于颜色以外的其他性状，不论野生亲种还是大多数家养品种，只有公鸡才有发达的肉冠；但小西班牙鸡在很早的龄期其肉冠就十分发育，同公鸡肉冠的早期发育相一致，成年母鸡的肉冠也异常之大。在猎鸟的品种中，好斗性的发育早得令人吃惊，在这方面可以举出一些奇妙的证据；这个性状是传递给雌雄双方的，所以由于母鸟的极端好斗，现在一般都分栏展出。关于波兰鸡品种，头部支持鸡冠的骨质突起甚至在小鸡孵化之前就已部分发育了，而鸡冠本身也很快开始生长起来，虽然起初它还是柔弱无力的[①]；这品种的成年公鸡和成年母鸡都有一个大形骨质突起和一个巨大鸡冠作为特征。

最后，根据我们现在所见到的许多野生种和家养种的性状发育时期和性状传递方式之间的关系——下述事实特别突出：雌雄二者都生角的驯鹿，其鹿角是在早期生长的，而与此相对的是，只有雄者才有角的其他物种，其鹿角则是在晚得多的时期生长的——我们可以得出如下结论，第一，其性状专门遗传给雌雄任何一方的原因是由于这些性状是在生命晚期发育的，虽然这不是唯一的原因。第二，其性状遗传给雌雄双方的原因是由于这些性状是在雌雄双方的体质还没有多大差别的生命早期发育的，虽然这也是一个不甚有力的原因。然而，看来雌雄二者之间甚至在很早的胚胎

① 关于某些鸡的品种的细节以及有关所有这方面的参考材料，请参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，250、256页。关于高等动物，由家养引起的性差异，均以各个物种为题在同书中有所描述。

期就一定存在着某种差异，因为早期发育的性状只为某一性别所具有者，并不罕见。

提要和结论

根据上述对遗传法则的讨论，我们认识到双亲的性状常常是，甚至普遍是倾向于在双亲最初发生这等性状的同一龄期、同一季节、同一性别的后代中发育的。但是，这些规律由于不明的原因还远远不是固定不变的。因此，当一个物种发生变异时，那些连续的变化可能随时以不同的方式被传递下去；有的只传递给性别一方，有的则传递给雌雄双方；有的只在一定的龄期传递给后代，有的则不问龄期而传递给后代。不仅遗传法则是极端复杂的，而且诱发和控制变异性的诸原因也是如此。这样被诱发起来的变异由性选择保存下来并积累起来，而性选择本身又是极端复杂的事情，性选择实际上取决于雄者的求爱热情、勇气和竞争，还取决于雌者的识别力、审美力和意愿。性选择还受到对物种都有好处的自然选择的支配，因此，性选择对任何一性的个体的影响方式或对雌雄双方的个体的影响方式必然是高度复杂的。

当变异发生在某一性别的生命晚期并在同一龄期向同一性别传递时，另一性别及其幼仔都保持不变。当变异发生在生命晚期、但在同一龄期向雌雄双方传递时，则只有幼仔保持不变。然而变异可能在某一性别或在雌雄两性的生命任何时期发生，并在一切龄期向雌雄双方传递，于是这个物种的一切个体就会同样地发生改变。在以下几章将可看到所有这些情况经常在自然界里发生。

性选择在未达生殖年龄之前，决不会对任何动物发生作用。由于雄者求偶的巨大热情，性选择一般是对雄者发生作用，而不对雌者发生作用。这样，雄者就会获得同其竞争对手战斗的武器，获得用以发现雌者和牢牢抓住她的器官，也获得用以刺激雌者或向其

献媚的器官。要是雄者在这些方面都同雌者有所差异，那么成年雄者同幼年雄者也会多少有所不同，正如我们已经见到的，这是一个极普遍的法则；根据这个事实我们可以断言，使成年雄者发生改变的那些连续变异，一般不会远在生殖年龄之前出现。每当在生命早期发生一些变异或许多变异时，则幼年雄者就会或多或少地具有成年雄者的一些性状；成年雄者和幼年雄者之间的这类差异可以在多种动物中观察到。

幼年雄性动物大概往往倾向于按照下述方式发生变异；即在幼年时期不仅对它们毫无益处，实际上反而有害处——例如获得鲜艳色彩，这将使它们容易被敌人发现，又如获得像巨大的角那样构造，这将使其在发育过程中消耗掉很多生命力。幼年雄者所发生的这类变异，通过自然选择几乎肯定要被排除掉。另一方面对于成年的雄者来说，由获得这些性状而带来的利益将会抵消冒受危险和损失生命力这两种危害而有余。

有些变异可以使雄者有一个较好的机会去战胜其他雄者，或者去寻求、占有或媚诱异性；如果这样的变异碰巧发生于雌者，由于它们对雌者毫无益处，它们就不会通过性选择在雌者身上被保存下来。关于家养动物，我们也有良好的证据表明，所有种类的变异如果不加以细心的选择，通过杂交以及意外的死亡，就会很快消失掉。因此，在自然状况下，如果上述这类变异偶尔发生于雌性一方并专门在雌性这一方传递，那么这类变异就极其容易消失。然而，如果雌者发生了变异并把它们新获得的性状传递给其后代的雌雄双方，那么那些对雄者有利的性状将会通过性选择被保存下来，结果雌雄双方都会按照同样的方式发生改变，虽然这样的性状对雌者毫无用处；不过以后我还要回头对这些更为复杂的偶然情况进行探讨。最后，通过性状的传递，雌者可能获得而且显然常常获得来自雄者的一些性状。

在生命晚期发生的并只传递给一种性别的变异，如果关系到

物种的繁殖，就会被性选择所利用，而且通过性选择被积累起来；因此，同上述相似的变异，虽然关系到日常的生活习性为什么没有常常通过自然选择而被积累起来，乍一看这好像是一个无法解释的事实。如果这种情况发生了，雌雄二者，譬如说为了捕捉猎物和逃避危险，往往会发生不同的改变。雌雄二者之间的这类差异确会偶尔发生，在低等动物中尤其如此。但是，这意味着雌雄二者在生存斗争中遵循不同的习性，对于高等动物来说，这是少见的事情。然而这个情况和生殖机能大不相同，雌雄二者在生殖功能方面必然有差别。这是因为同生殖机能有关的构造变异，常被证明只对一种性别有价值，而且由于这些变异发生在生命晚期，所以只向同一性别传递，这样保存下来和传递下去的变异，便引起了第二性征的发生。

我将在以下几章讨论属于各个纲的动物的第二性征，并努力把本章所阐明的原理应用于每个事例。我们用于讨论最低等动物纲的时间将很短，而对于高等动物，尤其是对于鸟类，则必须用相当的篇幅详加讨论。请注意，由于已经说明的理由，关于雄者用以寻求雌者并在寻得后牢牢把她抓住的无数构造，我只想举出少数例子用作说明。另一方面，关于雄者用以战胜其对手的以及用以媚惑或刺激雌者的全部构造和本能，将予以充分讨论，因为它们在许多方面都是最有趣的。

第九章

动物界低等纲的第二性征

最低等的动物纲缺少第二性征——灿烂的色彩——软体动物——环形动物——甲壳类，次级性征的强烈发达；二态现象；色彩；成熟以前未曾获得的诸性状——蜘蛛，其雌雄色彩；雄者的摩擦发音——多足类。

凡是属于低等纲的动物，其雌雄两性结合于同一个体之内者并不罕见，因此第二性征在它们当中不能发育。在雌雄分离的许多场合中，二者都永久地附生于某种支座上，某一方不能寻找另一方也不必为占有另一方而进行斗争。再者，几乎肯定的是，这些动物的感觉器官不太完善，而且心理能力也太低，以致不能彼此欣赏对方的美或其他魅力，也不会感觉到同性之间需要竞争。

因此，我们必须考虑的那种第二性征在原生动物、腔肠动物、棘皮动物以及蠕形动物等这些纲或亚界中都不会发生；这一事实同关于高等诸纲的第二性征是通过性选择而获得的那一信念相符合，而性选择则依赖于雌雄任何一方的意志、欲望和选择。尽管如此，依然会发生少数明显的例外；例如，我听贝尔德博士说，某种体内寄生虫的雄者和雌者的颜色稍有差异；但我们没有理由设想这些差异是由于性选择而被加大的。雄者用来抱握雌者的器官，乃是物种繁殖必不可少的，却同性选择无关，而是通过自然选择获得的。

许多低等动物，无论是雌雄同体还是雌雄异体，都饰以最灿烂的色彩，或具优雅的色调和条纹；例如，许多珊瑚虫和海葵，某些水母、银币水母等，某些真涡虫、海盘车、海胆类、海鞘类等；但我们根据已经指明的理由，即，这些动物中有的是雌雄同体，有的是永久附生在其他东西上，以及所有它们的心理能力都低；可以断定这等色彩并不是作为一种性的吸引力，也不是通过性选择而被获得的。应当记住，除非某一性别比另一性别的色彩灿烂得多或鲜明得多，而且除非雌雄之间在习性上没有足够的差异以阐明其色彩的不同，否则我们就没有充分的证据可以证明其色彩是通过性选择而获得的。但是，只有当那些更富于装饰的个体，几乎总是雄者如此，主动在另一性别面前夸示其魅力的时候，其证据才可称为完全；因为我们无法不相信这样夸示是无用的，如果这是有利的，那么性选择几乎不可避免地就会跟着发生作用。然而，当雌雄二者的色彩相同时，如果它们的色彩仅仅和同一类群的某些其他物种的某一性别的色彩明显相似，那么我们就可以把这一结论扩及到雌雄双方。

那么，我们怎样来阐明最低等纲的许多动物那种美丽的甚至灿烂的颜色呢？这等色彩是否常作为一种保护，好像还有疑问；但只要读一读华莱士先生关于这个问题的卓越论著，谁都会承认我们在这个问题上多么容易陷于错误。例如，任何人最初看到水母类的透明性时，大概都不会认为这对保护它们自己有最大益处。但是，赫克尔提醒我们注意，不但是水母，而且许多浮游软体动物、甲壳动物、甚至是小的海洋鱼类都有这种相同的往往带有彩虹色的透明外貌，这样，我们就几乎无法怀疑它们正是这样逃避了海洋鸟类以及其他敌害的注意。贾尔也认为①，某些海绵类和海鞘类的明亮色彩乃有保护作用。明显的色彩对许多动物同样也是有利的。这可以用来警告那些攫食之敌，它们的味道不好或是具有某种特别

① 《动物学实验文献集》(*Archives de Zoolog. Expér*)，1872年，10月，563页。

的防御手段；但为了方便起见，有关这个问题将留在后面去讨论。

由于对大多数最低等动物的知识贫乏，我们只能说，它们的明亮色彩或是由其组织的化学性质所引起的，或是由其组织的细微构造所引起的，而同这种明亮色彩所产生的任何利益无关。几乎没有任何颜色比动脉的血更为漂亮的了；但没有理由来设想这种血的颜色本身具有任何利益；虽然这会给少女的双颊增添美丽，但谁也不会妄说它是为了这个目的而被获得的。又如许多动物，特别是低等动物，其胆汁的颜色富丽，例如，汉考克先生告诉我说，无壳的海参科是极其美丽的，这主要是因为透过其透明的外膜可以见到胆汁的腺体——这种美丽对这些动物大概不会有什么益处。美洲森林里凋谢的树叶色调，被所有人描写得灿烂耀眼，但没有人认为这等色调对树木有任何一点利益。请记住，化学家们最近合成的同天然有机化合物密切近似的物质何等之多，它们显示出最华丽的颜色，那么在活有机体的复杂实验室中如果没有经常创造出同样颜色的物质，那反倒奇怪了。

软体动物亚界

在动物界的这整个大部门中，就我所能发现的来说，决没有本书所考察的那样第二性征。三个最低等的纲，即海鞘类、苔藓虫类和腕足类（构成某些作者所谓的拟软体动物门），也不能期望它们有第二性征，因为大多数这等动物都是永久地附生在一个支座上的或是雌雄同体的。在瓣鳃纲即双壳类中，雌雄同体并不罕见。紧接的较高一级为腹足纲，即单壳类，有雌雄同体的，也有雌雄异体的。但是，在雌雄异体的场合中，雄者从未有过用以寻求、抱持或媚惑雌者的特别器官，也不具有同其他雄者斗争的特别器官。格温·杰弗里斯先生告诉我说，其雌雄之间的唯一外部差异有时仅仅表现在贝壳形态略有不同；例如，雄滨螺的壳比雌者的狭些，螺旋线

细长些。但可以假设，这种性质的差异直接同生殖行为或卵的发育有关。

腹足类动物虽能运动，并且具有不完善的眼睛，但似乎并不赋有足够的心理能力来和同性诸成员在竞争雌者中互相搏斗，这样就不能由此获得次级性征。尽管如此，有肺腹足类动物即蜗牛类在交配之前，还有一个求偶的过程；因为这等动物虽是雌雄同体，但迫于它们的构造还要互相交配。阿加西斯述说[1]，“凡是观察过蜗牛求偶活动的人们都不会怀疑，这种雌雄同体的动物在实行双重交配的过程中存在着对异性进行媚惑的行为。”这等动物在某种程度上似乎也容易持久地互相依恋；朗斯代尔先生是一位精确的观察家，他告诉过我，他曾把一对蜗牛放在一个食物缺乏的小花园里，其中一只很衰弱。经过短时间后，那个健壮的个体不见了，留下一道有粘液的足迹，原来它翻过了一道墙来到相邻的一个食物丰富的花园里。朗斯代尔先生断定它已将其有病的伴侣抛弃了；但过了 24 小时后它又回来了，而且显然向其伴侣传达了它的有成效的勘查结果，因为它们于是沿着原路消失在墙外了。

即使软体动物中最高等的纲，像雌雄异体的头足纲，即乌贼，就我所能发现的来说，也不具有现在所说的那种第二性征。这是一个令人感到奇怪的情况，因为，凡是见过它们怎样巧妙地逃避一种敌害的人们都会承认这等动物具有高度发达的感觉器官和相当的心理能力[2]。然而，某些头足类动物具有一种异常的性征，即，雄性生殖素先集中于一条臂或触手内，这条触手随即断落，依其吸盘附着于雌者，并在一段时间内营独立生活。断落的这条触手同一个独立的动物如此完全相似，以致居维叶把它描述为一种寄生虫，称其

---

① 《关于纲之下的物种》(De L'Espèce et dela Class.) &c.，1869，106 页。

② 例如，参阅我的有关记载，见我著的《研究日志》(*Journal of Researches*)，1845 年，7 页。

为交接腕。但是,把这种奇异的构造归入第二性征,倒不如把它归入第一性征更为合适。

性选择虽然对软体动物似乎不起作用;但是像涡螺、芋螺、扇贝等许多单壳类和双壳类的颜色和形状都很美丽。在大多数场合中,颜色好像没有什么保护作用;正如最低等动物纲的情况那样,颜色大概是组织性质的直接结果;贝壳的样式和刻纹取决于它的生长方式。光的量似乎有一定程度的影响;因为,格温·杰弗里斯先生虽然反覆讲过生活在深水里某些物种的贝壳颜色是明亮的,然而我们一般所看到的是其底面以及由套膜所遮盖的部分,其颜色不及上部受光表面的颜色浓①。在某些场合中,例如生活在珊瑚或色调明亮的海草中的贝类,其明亮的颜色可能是作为保护② 自己之用的。但是,在奥尔德和汉考克二位先生的出色著作中可以看到,许多裸鳃软体动物或者海参的颜色之美丽同任何贝类无异;根据汉考克先生热心给我的材料看来,这等颜色通常是否作为保护自己之用,似乎极可怀疑。对某些物种来说可能有这种作用,例如有一类是生活在海藻的绿叶上,其本身的颜色也是碧绿的。但许多颜色明亮的、白色的或其他有鲜明颜色的物种并不寻求隐蔽;另外还有某些同等鲜明颜色的物种以及其他暗色的种类生活在石头底下和幽暗的深处。因此对于裸鳃软体动物来说,它们的颜色同其栖息场所的性质显然没有什么密切关系。

这些无壳的海参都是雌雄同体,但它们互相交配,这同蜗牛类的情况一样,而许多蜗牛都有极漂亮的壳。可以这样想象:雌雄同体的两个个体彼此被更富有魅力的美所吸引,结合后其后代仍有

---

① 我举出过一个奇妙例子(《关于火山岛的地质考察》,1844 年,53 页)示明光线对一种在阿森松岛海岸沉积的叶状外壳颜色所发生的影响,这种沉积是由于拍岸浪向海岸岩石的冲击,并由磨碎了的海贝壳的溶液而形成的。

② 莫尔斯博士(Morse)最近对这个问题进行了讨论,见他写的《关于软体动物的适应性的色彩》的论文,载于《波士顿博物学会学报》,第 16 卷,1871 年 4 月。

富有魅力的美。但对于如此低等的动物来说，这是极不可能的。而且也完全看不出来自一对比较美丽的雌雄同体动物的后代，怎么会比来自一对比较不美丽的雌雄同体动物的后代占有任何优势，以增加其数量，除非精力和美丽的确普遍相符相合，就不会有上述情况发生。在这里，我们还没有考虑下述事例，即一定数量的雄者比雌者早熟，以及比较美丽的雄者被精力比较旺盛的雌者所选中。诚然，就有关一般生活习性来说，如果美丽的颜色对于一种雌雄同体动物是有利的，那么，色调比较明亮的个体大概会获得最大成功，并且增加其数量；但这是自然选择而不是性选择的事例。

蠕形动物亚界：环节动物

在这个纲中，当雌雄异体时，雌雄二者有时在一些重要的性状上有所不同，以致会把它们归入不同的属甚至不同的科，虽然如此，这似乎不是可以稳妥地归因于性选择的那种差异。这些动物往往都有美丽的颜色，但由于雌雄二者在这方面并无区别，因此我们很少考虑它们。即使纽形动物，虽然其体制如此低等，“在美丽和颜色的丰富多彩方面也可同无脊椎系列中的任何其他类群相竞争；”然而麦金托什[①]博士未能发现这些颜色有什么用途。按照夸垂费什的意见[②]，固定不动的环节动物在生殖时期过后，其颜色就变得暗淡了；我认为这一点可能是因为它们在那时处于比较不活跃的状况。所有这一切蠕虫状的动物显然都由于太低等，以致雌雄双方的个体都不能尽力去选择一个对象，或者，同一性别的个体也不会在竞争对象中互相搏斗。

① 参阅他的专题著作《英国环节动物类》(British Annelids)，第1部分，1873年，3页。

② 参阅佩里埃(M. Perrier)的《达尔文以后有关人类起源的讨论》(L'Origine de L'Homme d'après Darwin,)见《科学评论》，1873年，2月，866页。

节足动物亚界：甲壳动物

在这巨大的纲中，我们首先遇到的是，常常以一种显著方式发育的无可怀疑的第二性征。不幸的是，我们对甲壳动物的习性了解得很不全面，而且还解释不了某一性别所特有的许多构造的用途。关于低等寄生性物种，其雄者体型小，而且只有雄者具有完善的游泳肢、触角和感觉器官；雌者缺少这等器官，其躯体往往只是扭曲的一团。但是，雌雄之间这等异常的差异无疑同它们的广泛不同的生活习性有关。不同科的各种甲壳动物的前触角具有特殊的线状体，这些线状体据信可起嗅觉器官的作用，而雄者的线状体数量远比雌者的为多。即使雄者的嗅觉器官不太发达，它们几乎肯定迟早也能找到雌者，因此，嗅觉线状体大概是通过性选择而增加了数量，这是因为具有更多线状体的雄者在寻找对象和产生后代方面都能获得较大成功。弗里茨·米勒描绘过异足虫属的一个显著二态的物种，其雄者有两种不同的类型，决无中间类型存在。其中一种类型具有数量较多的

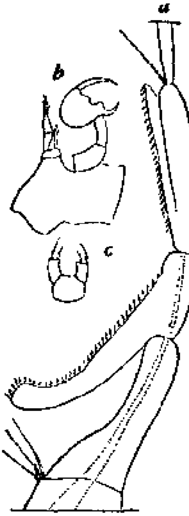


图 4　达氏角水蚤（*Labidocera darwinii*）
（引自卢伯克原著）
a. 雄者右前触角形成抱握器官的部分；
b. 雄者的一对后胸肢；c. 雌者的一对后胸肢。

嗅觉线状体，另一种类型则具有较强的而且较长的钳爪或螯，用以抱持雌者。弗里茨·米勒认为这同一物种的两个雄性类型之间的这等差异可能起源于某些个体在嗅觉线状体的数量上发生了变异，同时另一些个体则在钳爪的形状和大小上发生了变异；因此前者能够最有效地寻找雌者，而后者则能最有效地抱持雌者，它们都会留下最大数量的后代以承继各自的优越性①。

在某些低等甲壳动物中，雄者的右前触角和左前触角的构造大不相同，左前触角的简单圆锥状关节同雌者的触角相类似。雄者那条变异了的触角不是中间膨大就是呈一定角度的弯曲，不然就是变成某种优雅的有时是异常复杂的抱握器官②（图 4）。我听卢伯克爵士说，它是用来抱持雌者的，而且为了同一目的，身体同一侧的两条后肢(b)也变成了一种钳状物。在另一科中，只有雄者的下触角，即后触角呈"奇妙的锯齿状"。

高等甲壳动物的前肢发育成钳爪或螯；而雄者的这等器官一般比雌者的大， 按照斯彭斯·巴特先生的材料，雄黄道蟹因为螯很大，其市价要比雌蟹贵五倍。许多物种躯体两侧的螯大小不相等，正如贝特先生告诉我的，右侧的螯一般都是最大的，虽然并非一律如此。这种大小不相等的程度也常常是在雄者比在雌者为大。雄者两只螯的构造往往也有差异（图 5、6 和 7），较小的那只螯同雌者的相类似。它们躯体相对两侧的螯大小不相等以及雄者两侧的螯大小不相等的程度大于雌者会带来什么利益；还有，当两侧的

① 《支持达尔文的事实和论据》(Facts and Arguments for Darwin)英译本，1869年，20页。参阅上述关于嗅觉线状体的讨论。萨斯(Sars)曾描述过一个多少类似的例子，是关于一种挪威甲壳动物的，即 *Pontoporeia affinis*。(《自然》，1870年，455页引用)。

② 参阅卢伯克爵士的文章，见《博物学年刊杂志》第 11 卷，1853 年，1—10 页；第 12 卷，1853 年，7 页。再参阅卢伯克的文章，见《昆虫学会会报》新刊第 4 卷，1856—1858 年，第 8 页。至于下面提到的锯齿形触角，参阅弗里茨·米勒的《支持达尔文的事实和论据》，1869 年，40 页，脚注。

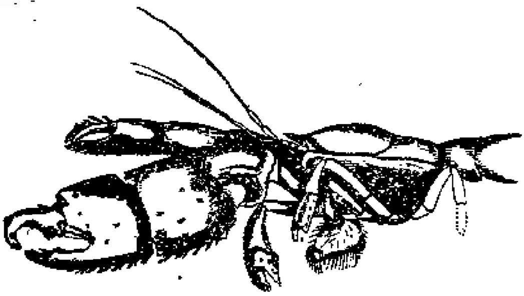


图 5　美人虾属(*Callianassa*)身体的前部(引自米尔恩·爱德华兹原著),
示明雄者右侧和左侧的螯大小不相等以及构造的不同。
注意：绘图人把图画颠倒了,误把左螯画成最大的。

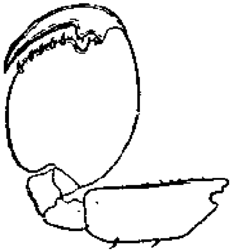


图 6　一种雄跳钩虾(*Orchestia tucuratinga*)(引自弗里茨·米勒原著)。

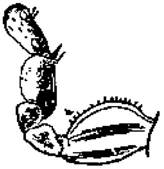


图 7　司图 6,雌者的第二肢

螯大小相等时,雄者的螯为什么又往往大于雌者的,其原因都还弄不清楚。我听巴特先生说,有时它们的螯是如此之大而且如此之长,以致不能用它们取食送至口际。某种淡水雄斑节虾(长臂虾属)的右肢实际上比整个身体还要长①。这条大型的肢加上它的螯将有助于它同其竞争对手进行战斗;但是,雌者躯体相对两侧的不

① 参阅斯彭斯·巴特先生一篇附有图解的论文,见《动物学会会报》1868 年,363 页;以及关于属的系统命名法一文,同前刊,585 页,我以上几乎全部有关高等甲壳动物的螯的论述,均承斯彭斯·贝特先生的大力协助。

相等并不是由于这同样的原因。根据米尔恩·爱德华兹所引用的一段叙述[①]，在招潮蟹中，雄者和雌者同穴而居，这阐明它们是成双成对的；雄者用一只非常发达的螯把洞口堵住，因此它在这里是间接用作防御手段的。然而其主要用途大概还是在于抓住和保卫雌者。有些事例，如钩虾，据知就是如此。雄寄居蟹或武士蟹[②]一连几个星期携带着雌蟹所居住的壳转来转去[③]。然而，巴特先生告诉我说，普通滨蟹在雌蟹刚一脱掉硬壳之后，雌雄就直接交合，雌蟹脱壳后是那样地娇嫩，这时如果被雄蟹强有力的双钳夹住就会受到伤害；但是因为雄蟹在雌蟹脱壳之前就捉住了它并把它带来带去，所以在雌蟹脱壳后再抓住它就不会造成损伤了。

弗里茨·米勒说，Melita 的某些物种由于雌者的"倒数第二对足的基节片长成为钩状突起，以便雄者用第一对前肢把它们抓牢"，因而同所有其他端足类都有所区别。这种钩状突起的发育大概由于雌者在生殖行为中可以最牢固地被雄者抓紧，并留下最大数量的后代。另一个巴西的端足类——（达氏跳钩虾，图 8）呈二态现象；同异足水虱属的情况相似；因为它们有两种雄性类型，其区别在于螯的构造[④]。由于无论用哪一支螯肯定都完全可以把雌者抱握住，——因为现在这两支螯都用于这个目的，——所以这两种雄性类型大概起源于有些个体发生了这样变异，而另一些个体则发生了那样变异；这两种类型由于它们不同形状的器官都曾经产生了某种特殊的而又接近相等的利益。

现在尚未发现雄性甲壳动物为了占有雌者而互相战斗，但这

① 《甲壳动物志》（*Hist. Nat. des Crust.*）第 2 卷，1837 年，50 页。

② 一名"巢螺"第一对肢形大为钳状，其在右方者常比左方大，全体赤色或苍黑；栖于海滨，寄居螺类遗壳之中，故名。其右方的大螯用以步行和采食，当退居螺壳中时并用它掩蔽螺壳之口。——译注

③ 斯彭斯·巴特先生著文，见《大不列颠协会，关于南部德文郡动物区系的第四个报告》。

④ 弗里茨·米勒，《支持达尔文的事实和论据》，1869 年，25—28 页。

种情况是可能的；因为，对大多数动物来说，当雄者大于雌者时，雄者的较大体型似乎是靠了其祖先同其他雄者经历了许多世代的战斗之故。在大多数的“目”中，尤其是在最高等的“目”即短尾类①

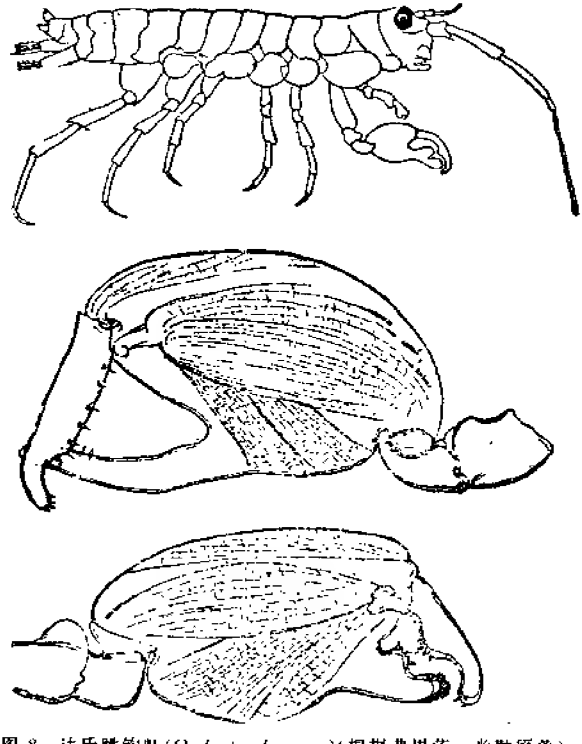


图 8　达氏跳钩虾(*Orchestia darwinii*)(根据弗里茨·米勒原著)，
图示两种雄性类型的螯的不同构造。

中，雄者都大于雌者；然而雌雄二者遵循不同生活习性的寄生性的

① 短尾类为甲壳类的一个亚目，腹部短而曲屈，密着于头胸部下，第一对肢大而具螯，次四对小而有爪，或最后一对肢端广阔，变为游泳器，如蟹等属之。——译注

属，以及大多数的切甲类①都是例外。许多甲壳动物的螯都是十分适于战斗的武器。例如，巴特先生的儿子曾见到一只梭子蟹同一只滨蟹进行战斗，后者很快就被打得背朝下，而且每条肢都从躯体上被撕裂下来。巴西的雄招潮蟹具有巨螯，当弗里茨·米勒把它们的若干只雄者放入一个玻璃容器时，它们就互相撕裂和残杀。巴特先生曾把一只大形的雄滨蟹放入一盆水中，其中已有一只雌滨蟹同一只较小的雄滨蟹交配，但后者很快就被撵走了。贝特先生接着说，"如果它们战斗过，那么这个胜利是一种不流血的胜利，因为我没见到损伤。"这位博物学家把一只雄海岸钩虾(在英国的海岸上经常可以见到)，同它的雌性伴侣分开，它们二者原是与同一个物种的许多个体放在同一个容器里的。当雌者这样被分开之后，很快就同其他个体混合在一起了。经过一段时间后，又把原来那只雄者放回容器里；它在四周游了一回儿后，就向虾群中猛冲进去，没有经过任何战斗，一下子就把其原配带走了。这个事实阐明了，在动物等级上属于低等一个"目"——异足类的雄者同雌者是彼此认识的，而且是互相依恋的。

甲壳动物的心理能力一般比想象的为高。任何人如果试图去捉一只热带海滨常见的海岸蟹，就会看到它们是多么谨慎和警惕。在珊瑚岛上发现有一种大形的蟹(椰子蟹)，它们能从椰实剔出纤维，在一个深洞底部铺成一个厚床。它以掉下的椰实为食，自外壳逐层撕去其纤维；而且总是从椰子上有三个像眼睛那样凹痕的那一端开始。然后它用其沉重的前螯敲打，打开其中的一个凹眼，再把它翻过来，用其狭窄的后螯取出里面含有丰富胚乳的果心。不过这些动作大概是本能的，因为在进行这些动作时幼蟹同老蟹都完成得一样好。然而下述情况就另当别论了：一位可信赖的加德纳先

① 为甲壳类的一个亚纲，体型小，当脱皮为成虫时，有肢三对，为感觉、取食和游泳之用，如水蚤等属之。——译注

生[1] 当他注视到一只海岸蟹(招潮蟹属)在做巢穴时,曾向洞穴扔了若干贝壳。一只贝壳滚进了洞里,另三只贝壳掉在离洞口几英寸的地方。大约五分钟左右,这只蟹把掉进洞里的那只贝壳弄了出来,放到离洞口一英尺的外面;然后它又见到掉在附近的那三只贝壳,并且显然想到它们会同样滚进洞里去的,于是又把它们带到第一只贝壳所在的地方。我想这种行动同人类理性的行动之间是很难加以区别的。

贝特先生不知道有任何十分显著的事例表明我们英国的甲壳动物的雌雄颜色有什么差异,而高等动物的雌雄二者在这方面的差异是很常见的。然而在某些场合中,雌雄二者的色调稍有不同,但巴特先生认为这无非是由于它们的不同生活习性所致,譬如雄者游动性较强,这样就受光较多。鲍尔博士曾试图从颜色来区别产于毛里求斯的一些物种的雌雄性别,但除了虾蛄属的一个物种之外都失败了,这个物种大概就是针形虾蛄,其雄者被描述为"具有美丽的天蓝色",而且有一些樱红色的附器,但雌者的外壳则布满模糊的褐色和灰色斑点,"其四周的红色远不如雄者的鲜艳。"[2] 从这个例子,我们可以猜想到性选择的作用。根据M.伯特对水蚤属[3]的观察,当把它放进一个通过棱镜的光线所照射的容器里时,我们有理由相信甚至最低等的甲壳动物也能辨别颜色。叶剑水蚤属(切甲类的一个海产属)的雄者具有许多微型盾状体或类细胞体,它们表现有变化不定的美丽颜色;这些颜色是雌者所没有的,有一个物种的雌雄二者都没有这样颜色[4]。然而要断定这些奇妙

---

① 《巴西腹地纪游》(Travels in the Interior of Brazil),1846年,111页。在我的《研究日志》的第463页有关于椰子蟹习性的记述。

② 参阅弗雷泽(Ch. Fraser)先生的文章,见《动物学会会报》1869年,3页。承贝特先生给我提供了鲍尔博士的记述。

③ 属于节肢动物,甲壳类,金鱼虫、红虫属之。——译注

④ 克劳斯(Claus)《关于桡足类的游动生活》(Diefreilebenden Copepoden),1863年,35页。

的器官就是用来吸引雌者就未免过于轻率了。弗里茨·米勒对我说，巴西招潮蟹的雌者通体几乎都是一致的灰褐色。雄者头胸部的后部是全白色的，前部是深绿色的，并逐渐变为暗褐色；值得注意的是，这些颜色在几分钟内就能变——由白色变成暗灰色甚至是黑色，而绿色也"失去了其大部光泽"。尤其值得注意的是，雄者要到成熟时才获得其鲜明的色彩。它们的数量看来比雌者多得多；它们的螯也大于雌者。在这个属的某些物种中，雌雄二者都是成对地居住在同一个洞穴内。正如我们已经看到的，它们也是高度聪明的动物。根据这种种考察，看来这个物种的雄者大概为了吸引或刺激雌者而变得装饰华丽了。关于雌雄二者之间许多构造上的显著差异，上述一点似乎是这个纲的一个普遍规律。以后我们将会看到同一法则且通用于脊椎动物这一大的亚界。而且在所有场合中，通过性选择所获得的性状都是区别显著分明的。弗里茨·米勒[①]提出一些有关这个法则的显著事例；例如雄跳钩虾要到接近完全成长时才获得巨大的抱握器，当其幼小时，其抱握器则同雌者的相似。

蛛形纲（蜘蛛类）

其雌雄二者的颜色一般没有重大区别，但雄者往往比雌者色暗，在布莱克瓦尔先生的巨著[②]中可以看到这一点。然而有些物种的差异却是显著的，例如，雌绿色遁蛛呈暗绿色，而成年雄蛛的腹部则呈鲜黄色，并具三道浓艳的红色纵条纹。蟹蛛属某些物种的雌雄二者彼此密切类似，但另外一些物种的雌雄二者则很不相同；许多别的属也有近似的情况。究竟雌雄二者哪一方同该物种所隶属

① 《支持达尔文的事实和论据》，79页。

② 下述事实见《大不列颠蜘蛛志》（A History of the Soiders of Great Britain），1861—1864年，77、88、102页。

的那个属的正常色彩相差最大，往往很难说；但布莱克瓦尔先生认为，按照一般的规律，还是雄者如此；卡内斯垂尼述说[1]，在某些属中，雄者特别容易被识别，而识别雌者就非常困难了。布莱克瓦尔先生告诉我说，雌雄二者在幼小时通常是彼此类似的；在它们成熟之前的连续几次蜕皮期间二者的颜色就往往发生了重大变化。在另外一些场合中，好像只有雄者的颜色发生变化。因此上述具有鲜明色彩的雄遁蛛最初同雌者相类似，只有当它接近成熟时才获得其特有的色调。蜘蛛类具有敏锐的感觉并表现有很大的智力；如所周知，雌蜘蛛对它们的卵常常表现了最强烈的感情，它们用丝网把卵封包起来，随身携带。雄蜘蛛热切地寻求雌者，卡内斯垂尼以及其他人士还见到过雄蜘蛛为了占有雌者而进行战斗。这位作者还说，他曾观察过将近 20 个物种的雌雄蜘蛛的交配；他肯定地断言，雌蜘蛛拒绝有些雄蜘蛛的求爱，张开了上颚吓唬它们，经过长时间的犹豫之后，最后才接受了它所挑中的一只。根据这几种考察，我们可以多少有些把握地承认，某些物种雌雄二者之间在颜色方面的显著差异乃是性选择的结果。虽然关于这一点我们还没有掌握最好的证据——雄者以其装饰物进行夸示。从有些物种的雄者在颜色上的极度变异性来看，例如条纹球腹蛛，其雄者的这些特征似乎至今还不十分稳定。卡内斯垂尼根据某些物种的雄者在颚的大小和长短上，呈现了互相区别的两种类型这一事实，也做出了同样的结论。

---

[1] 这位作者最近发表了一篇《关于蛛形纲的次级性征》的有价值论文，见《帕多瓦博物学的威尼托-特兰提诺协会会报》(*Atti della Soc. Veneto-Trentina di Sc. Nat. Padova*)，第 1 卷，第 3 册，1873 年。

雄蜘蛛一般要比雌者小得多，有时竟异常的小①，为此，雄者向雌者接近时极端小心，因为雌者的羞怯往往会引起危险的攻击。德吉尔见过一只雄蜘蛛“浸沉在准备求爱之中时，被其所注意的对象捉住，包入她的蛛网，然后被吃掉”②。坎勃瑞季牧师③关于络新妇雄者的极端小形做过如下说明。“万松关于小形雄蜘蛛逃避雌者的凶猛攻击，做过生动记载，雄蜘蛛采取同雌者捉迷藏的办法，沿着后者的巨肢，越过后者的躯体，在后者四周滑来滑去：在这样一场追逐中显然最小的雄蜘蛛逃脱的机会最多，而大一点的雄蜘蛛很早就会成为牺牲品；因此一种小的雄性类型就会渐渐受到选择，直至最后缩到最小的可能程度，以适合实行其生殖机能——这就是说，它们小得就像雌者身上的一种寄生物，不会引起雌者的注意，或者因为它们太小、太敏捷，以致雌者非常难于捉住它们。”

韦斯特林有过一个有趣的发现：即球腹蛛属某些物种的雄者④具有摩擦发音的能力，而雌者却没有。它的发音器的构成是由腹底的锯齿状隆起同坚硬的后胸部相摩擦；但在雌者找不到这种构造的任何痕迹。值得注意的是，有几位作者，其中包括著名的蜘蛛学家瓦尔克纳，曾宣称蜘蛛类受音乐的吸引⑤。根据下一章所描述的直翅目和同翅目昆虫来类推，我们几乎可以肯定这种摩擦发

① 奥古斯特·万松(Aug. Vinson)在《岛屿蜘蛛类》(Aranéides des Iles de la Reúnion)，第六幅插图的图1和图2中提供了一个良好例子来说明雄黑蜘蛛(*Epeiranigra*)的小形身体。我可以补充一点：这个物种的雄者是黄褐色的，而雌者是黑色的并且腿上具有红色带状花纹。根据记载，关于雌雄二者大小的不相等，甚至还有更显著的事例，(《科学季刊》，1868年7月，429页)；但我没有见到原始材料。

② 柯尔比和斯彭斯，《昆虫学导论》，第1卷，1818年，280页。

③ 《动物学会会报》，1871年，621页。

④ 球腹蛛类，锯齿形球腹蛛，四星球腹蛛，斑点球腹蛛；参阅韦斯特林的著文，见克罗耶尔(Kroyer)的 *Naturhist. Tidskrift*，第4卷，1842—1843年，349页；以及第2卷，1846—1849年，342页。关于其他物种，再参阅《瑞典蜘蛛类》(Araneae Suecicae)，184页。

⑤ 祖特文博士在这本著作的荷兰文译本中收集了一些事例(第1卷，444页)。

音是用来召唤或刺激雌者，韦斯特林也这样认为；在动物界的等级中向下追溯，关于为了这个目而发出音响的，这是我所知道的最初的一个事例①。

多足纲

这个纲的两个"目"，无论马陆类或蜈蚣类，都没有这等雌雄差异的任何十分显著的事例值得我们更特别关心。然而，有一种球马陆，另外也许还有少数物种，其雄者和雌者的颜色稍有不同；但这种马陆都是一些高度容易变异的物种。关于倍足亚纲的雄者，在其躯体某一前节或后节上着生的一对腿变成了可以抱握的钩状物，作为抱持雌者之用。马陆属某些物种的雄者的跗节具有膜质吸盘，其用途也是一样。我们讨论到昆虫类时，将会看到十分异常的情况是，在石蜈蚣属中，正是雌者在其躯体末端具有抱握的附器以抱持雄者②。

① 然而，希尔根道夫(Hilgendorf)最近引起人们注意某些高等甲壳动物的相似构造，该构造似乎适于发出声音；见《动物学纪录》，1869年，603页。

② 瓦尔克纳和热尔威，《昆虫志：无翅目》(*Hist. Nat. des Insectesi Apteres*)，第4卷，1847年，17、19、68页。

第十章

昆虫类的第二性征

雄虫用以捉住雌虫的各种构造——雌雄之间含义不明的差异——雌雄之间在大小上的差异——缨尾目——双翅目——半翅目——同翅亚目，只有雄虫才具有的音乐能力——直翅目，雄虫的音乐器官，构造的巨大变化；好斗性；色彩——脉翅目，雌雄颜色的差异——膜翅目，好斗性和色彩——鞘翅目，色彩；具有明显装饰作用的巨角；战斗；雌雄双方一般都有的摩擦发音器。

在庞大的昆虫纲中，雌雄的差异有时表现在运动器官上，但往往是表现在感觉器官上，如许多物种的雄虫所具有的栉状触角和美丽的羽状触角即是。蜉蝣类的一种叫作二翅蜉蝣的，雄虫具有巨大的柱眼，而雌虫则无①，某些昆虫的雌者没有单眼，蚊蜂科就是如此；同时她们还没有翅。然而我们所关心的主要是使某只雄者或在战斗中或在求偶中能凭其体力、好斗性、装饰、或音乐去战胜其他雄者的那些构造。因此，雄者用以抓住雌者的装置，可能简略地

---

① 卢伯克爵士，《林奈学会会报》，第25卷，1866年，484页。关于蚊蜂科，参阅韦斯特伍德的《昆虫的近代分类》，第2卷，213页。

一笔带过，但腹端的复杂构造除外，这恐怕是要列为初级器官的[1]，正如沃尔什先生所说的[2]，"为了使雄者能够牢固地抓住雌者这个表面上毫不重要的目的，大自然创造了何等众多的不同器官，实足令人惊异不止。"昆虫的上颚或颚有时就用于这种目的；例如，角鱼蛉（一种脉翅目昆虫，同蜻蜓等有某种程度的亲缘关系）的雄者具有大而弯曲的颚，比雌者的颚长达数倍；它们是平滑的，而不是锯齿形的，所以雄者这样抓住雌者时就不致使她受到伤害[3]。北美洲有一种大锹甲，雄者的颚比雌者的大得多，也用于同样的目的，但大概也用于战斗。有一种砂泥蜂，其雌雄二者的颚密切相似，但用于大不相同的目的：如韦斯特伍德教授所观察的，雄蜂"非常热情，用其镰刀状的颚绕住配偶的颈部把后者抓住"[4]；雌蜂则用这种器官在沙坝上打洞筑巢。

许多雄甲虫前肢跗节膨大或具有宽的毛垫；在水生甲虫的许多属中，它们都具有扁圆的吸盘以便雄者能吸附在雌者的滑湿躯体上。有一个更加异常得多的情况，即有些水生甲虫（龙虱属）的雌者具有刻着深槽的鞘翅，而条纹龙虱雌者的鞘翅上则披着厚厚一

---

① 在亲缘关系密切接近的物种中，雄虫的这等器官往往不一样，并呈现最显著的物种性状。但从功能的观点来看，其重要性正如麦克拉克伦先生对我说过的，大概被估计过高了。有人提出这等器官的轻微差异就足以阻止十分显著的品种，即端始物种之间的杂交，这就有助于它们的发展。但实际情况简直不会如此，根据不同物种也可结合的许多观察记录［例如，参阅勃龙的《自然史》(Geschichte der Natur)，第 2 卷，1843 年，164 页；韦斯特伍德的文章，《昆虫学会会报》，第 3 卷，1842 年，195 页］，我们可以这样推论。麦克拉克伦先生告诉我［《昆虫报合订本》(*Stett. Ent. Zeitung*)1867 年，155 页］，迈耶博士曾把这种差异非常显著的石蛾科(Phriyganidae)的某些物种关在一起，它们**互相交配**了，而且其中一对还产下了受精卵。

② 《实际的昆虫学家》(The Practical Entomologist)，美国费城，第 2 卷，1867 年 5 月，88 页。

③ 同上杂志，107 页，参阅沃尔什先生的文章。

④ 见《昆虫的近代分类》，第 2 卷，1840 年，205、206 页。沃尔什先生唤起我对颚之双重用途的注意，他说他反覆观察到这类事实。

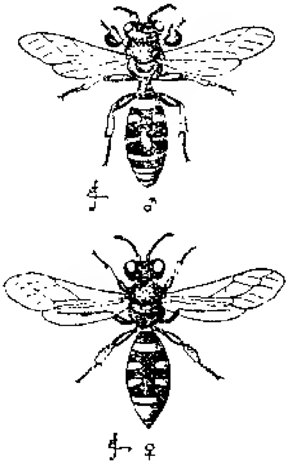


图 9 细腰蜂(*Crabro cribrarius*)
上图是雄蜂;下图是雌蜂

层毛,借以帮助雄者的抱持。另外有些水龙虱的雌者为了同一目的,具有刻点的鞘翅[①]。细腰蜂雄者(图 9)的胫节膨大而成宽阔的角质板,其上布满了微小的膜质点,使它呈现粗筛状的独特外形[②]。霉蛰属(甲虫的一属)的雄者"显然因同一目的",其触角中部的几节膨大,而且膨大部分的下表面有毛垫,同步甲科跗节的膨大部分完全一样。雄蜻蜓"尾巴尖端的跗器变成几乎数不清的种种奇形怪状,使它们能够用以抱握雌蜻蜓的颈部。"最后,许多雄性昆虫的肢都具有特殊的刺、节或距;或者整个肢弯成弓状或变粗,这是一种性的特征,但决非永远如此;或者一对肢变长了,或者三对肢都变长了,有时长到过分的程度[③]。

在所有昆虫的目中,许多物种的雌雄二者都表现有含义不明

① 我们在这里见到一种奇特而费解的二态现象,因为龙虱属四个欧洲物种和 *Hydroporus* 的某些物种的一些雌虫具有光滑的鞘翅;在有槽或有刻点的鞘翅和十分光滑的鞘翅之间并没有见过中间的级进类型。参阅绍姆(H. Schaum)博士的材料,《动物学家》(*Zoologist*),第 5—6 卷,1847—1848 年,1896 页,曾被引用。此外,参阅柯尔比和斯彭斯所著《昆虫学导论》(Introduction to Entomology)第 3 卷,1826 年,305 页。

② 见韦斯特乌德,《昆虫的近代分类》第 2 卷,193 页。以下关于霉蛰(*Penthe*)的叙述以及其他引文均采自沃尔什先生的材料,见费城出版的《实际的昆虫学家》第 2 卷 88 页。

③ 见柯尔比和斯彭斯,《昆虫学导论》,第 3 卷,332—336 页。

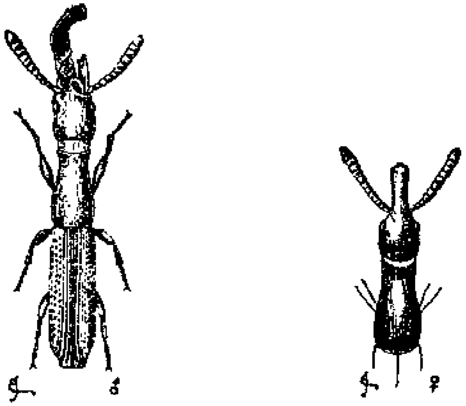


图 10 潜叶吉丁(*Taphroderes distortus*)(放大)
左图是雄虫,右图是雌虫

的差异。有一个奇妙的例子是关于一种甲虫的(图 10),其雄者的左上颚变得非常之大,因而口器大大歪斜。另一种步甲,阔颚虫①,其雌者的头比雄者的宽得多而且大得多,虽然在程度上有所不同,这是沃拉斯顿先生所知道的独一无二的事例。这种含义不明的事例不胜枚举。鳞翅目中充满了这类事例:其中最特别的一个是,某些雄蝴蝶前肢多少有些萎缩,其胫节和跗节缩小成仅是痕迹的小瘤。雌雄二者常常在翅的脉序上有所不同②,有时其轮廓也相当不同,巴特勒先生在大英博物馆给我看的 *Aricoris epitus* 就是如此。某些南美洲的雄蝴蝶的翅在边缘上有毛簇,后一对翅的中域有角

① 《马德拉昆虫》(Insecta Maderensia),1854 年,20 页。

② 道布尔戴《博物学年刊杂志》,第 1 卷,1848 年,379 页。我应再补充一点:某些膜翅目昆虫的翅脉因性别而异。参阅沙卡德(Shuckard)的《掘土膜翅目昆虫》(Fossorial Hymenop.),1837 年,39—43 页。

质赘疣[①]。若干英国蝴蝶，如翁弗先生所阐明的，只有雄者才部分地披有特殊鳞片。

雌性萤火虫发光的用途，引起了许多讨论。雄虫发光很弱，其幼虫以至卵的情况也一样。有些作者设想萤火虫的光是用以吓走敌人，另外有些作者则设想是用以引导雄虫来找雌虫的。贝尔特先生好像终于解决了这个难题[②]：他发现所有他用作试验的萤科昆虫，都是食虫的哺乳类和鸟类所高度厌恶的。因此，这同后面还要加以说明的贝茨先生的观点相符合，他认为许多昆虫密切模拟萤科是为了使食虫动物弄错，而这样逃脱毁灭。他进一步相信发光的物种有个好处，即立刻可被认出它是不可口的。至于雌萤火虫的翅为什么不发育，还弄不清楚；但雌虫现在的形态同一种幼虫密切类似，而幼虫是许多动物大量捕食的对象，因此我们就可理解为什么雌虫会比雄虫发出明亮得多的光而且更显眼得多，同样地，为什么幼虫本身也会发光。

雌雄之间在大小上的差异

所有种类的昆虫普遍都是雄者小于雌者；这种差异甚至在幼虫状态中已可察觉。家蚕的雄性茧和雌性茧之间的差异是那么显著，以致在法国是用一种特殊的称重方法将二者分离开来[③]。在动物界的低等纲中，雌者体型大于雄者一般似乎是由于前者要育成大量的卵；这在某种程度上也适用于昆虫类。但华莱士博士提出一

---

① 贝茨，见《林奈学会会报杂志》(*Journal of Proc. Linn. Soc.*)，第6卷，1862年，74页。翁弗尔(Wonfor)先生的观察材料在《通俗科学评论》中引用，1868年，343页。

② 见《博物学者在尼加拉瓜》，1874年，316—320页。关于有萤光的卵，见《博物学年刊杂志》，1871年11月，372页。

③ 罗比内特(Robinet)，《关于蚕丝》(Vers à Soie)，1848年，207页。

个可能性大得多的解释。他仔细观察了臭椿蚕和天蚕幼虫的发育，特别是观察了用异常食物饲养的第二造短小幼虫的发育，发现"吞蛾个体越细小，其变态所需的时间也成比例地越长；正是由于这个原因，雌蛾因为要产生大量的卵，所以大于而且重于雄蛾，而体型较小、易于成熟的雄蛾将先于雌蛾羽化。"① 那么，由于大多数昆虫都是短命的，而且由于它们处于许多危险之中，因此雌蛾如能尽早受精，显然对她是有利的。如果大批雄蛾先行成熟并随时等候雌蛾的出现，就可达到上述目的；正如华莱士先生所指出的②，这当然也是自然选择带来的结果；因为较小的雄虫先成熟，就会繁殖出大量继承其父本短小体型的后代，而体型较大的雄虫因成熟较晚就要留下数量较少的后代。

然而，雄虫小于雌虫这个规律也有例外：其中有些是容易理解的。在占有雌虫的斗争中，体大和力强对雄虫可能是一种有利条件；在这样事例中，如锹甲的雄虫就大于雌虫、另外还有些甲虫，据知彼此并不为了占有雌虫进行战斗，而其雄虫在大小上也超过雌虫；这个事实的意义还不清楚；不过在某些这样场合中，例如，关于大的犀金龟和分枝独角仙，我们至少能够知道，雄者没有必要为了先于雌虫成熟而小于雌虫，因为这等甲虫并不是短命的，故有充分时间保证雌雄的交配。另外，蜻科中的雄者从不小于雌者，有时则明显地大于雌者③；正如麦克拉克伦先生所相信的，雄蜻蜓要经过一周或两周并呈现出它们特殊的雄性色彩后才会同雌蜻蜓普遍交配。但最奇妙的是关于具有螫刺的膜翅目昆虫的例子，它阐明了像雌雄二者之间的体型差异这样一种微小的性状却受着多么复杂而容易被忽略的关系所支配；因为史密斯先生告诉我说，几乎在整个

---

① 《昆虫学会会报》，第3辑，第5卷，486页。

② 见《昆虫学会会报杂志》(*Journal of Proc. Ent. Soc.*)1867年，2月4日，121页。

③ 关于雌雄大小的这一叙述以及其他叙述，见柯尔比和斯彭斯的《昆虫学导论》第3卷，300页；关于昆虫的寿命，见344页。

这一巨大类群中，按照一般规律，雄虫都小于雌虫，而且其羽化先于雌虫一周左右；但在蜜蜂类中，蜜蜂、长袖切叶蜂和毛条蜂的雄者，以及在掘土蜂类中，艳蚁蜂的雄者都大于雌者。对这种异常现象的解释是，实行一种飞行交配对这些物种是绝对必要的，而雄者为了在空中携带雌者就需要巨大的体力和体型。在这里，虫体的增大是同体型大小和发育期之间的普通关系相违背的，因为雄者虽比雌者大，但比雌者先羽化。

我们现在对几个“目”的昆虫再检查一下，从中选用一些同我们有特别关系的事实。关于鳞翅目（蝴蝶类和蛾类），将另立一章进行讨论。

缨尾目

这个“目”的体制低等，其成员都是无翅的、颜色暗淡的、体型微小的昆虫，具有丑陋的、几乎是畸形的头和躯体。它们的雌雄二者无区别，但使人感兴趣的是，它们阐明了即使在动物等级的低下阶段，其雄者也孜孜不倦地向雌者求爱。卢伯克爵士说[①]：“看到这些小动物（黄圆跳虫）在一起卖弄风骚很是有趣。比雌虫小得多的雄虫绕着雌虫跑，彼此抵撞，迎而而立，退退进进，活像两只相戏的羊羔。然后雌虫假装跑开，雄虫装着一种愤怒的怪模样在后面追，赶到雌虫前面之后，又一次迎而而立；然后雌虫羞怯地转身避开，但雄虫比雌的跑得更快而且更活跃，一溜烟地前后左右追随，而且似乎用其触角鞭打雌的，过了一会它们又迎面对立，用触角相戏，互相之间的一切似乎全都解决了。”

① 见《林奈学会会报》第26卷，1868年，296页。

双翅目

雌雄之间的颜色差别很小。据沃克先生所知，雌雄差异最大者为毛蚊属，其雄者略带黑色或为全黑色，雌者是暗褐橙色。华莱士先生① 在新几内亚发现的角蝇属是高度引人注意的，因雄者有角，而雌者全无。角从眼的下方生出，同雄鹿的角奇妙地相似，不是呈叉状就是呈掌状。其中有一个物种的角与躯体的长度相等。大概有人认为这等角是适于战斗的，但有一个物种的角呈美丽的淡红色，黑色镶边，并有一道淡色中央条纹，因为这等昆虫的整个外貌都很优雅，所以更加可能的是，这等角是用作装饰的。有些双翅目的雄蝇相互争斗是肯定的；因为韦斯特伍德教授② 好几次见过大蚊属就有这种现象。其他双翅目的雄者显然试图以它们奏出的音乐赢得雌者的欢心；米勒③ 几次注意到一种尾蛆蝇的两只雄者在追求一只雌者；雄者在雌者上面盘旋，在其周围飞来飞去，同时发出很响的嗡嗡声。蚋科和蚊科似乎也靠发出嗡嗡声互相吸引；迈耶教授最近已证实在雌虫发出的声音范围之内，雄虫触角上的毛振动得同音叉的音调相符。长毛的振动同低音调共鸣，短毛的振动同高音调共鸣。兰多依斯也宣称他曾用某种特殊音调反覆地招来了一大群蚋。还可以补充一点，双翅目的心理官能大概高于其他大多数昆虫，这同它们的高度发达的神经系统是符合的④。

---

① 《马来半岛》(The Malay Archipelago)第 2 卷，1869 年，313 页。

② 参阅《昆虫的近代分类》第 2 卷，1840 年，526 页。

③ 参阅《动物比较解剖学年刊》，第 29 卷，80 页。迈耶，《美国的博物学家》(American Naturalist)，1874 年，236 页。

④ 参阅洛恩先生有趣的著作，《关于吐食蝇的解剖学》(On the Anatomy of the Blow-fly，Musca vomitoria)，1870 年，14 页。他说(33 页)："被捉住的蝇子发出一种特殊的哀鸣，这声音使其他蝇子都跑掉了。"

半翅目

道格拉斯先生对英国蝽象作过特别研究，他热心向我提供了一份有关其雌雄差异的报告。有些种的雄者有翅，而雌者无翅；两者在躯体、鞘翅、触角和跗节的形态上都有差异；但这些差异的意义不明。雌者一般都比雄者体大。英国的物种以及道格拉斯先生所知道的外来物种，其雌雄二者在颜色上通常并无多大差异；但是，约有六个英国物种的雄者比雌者的颜色暗得多，另外还有四个物种，却是雌者的颜色比雄者的暗。有些物种的雌雄二者都有美丽的颜色；由于这些昆虫散发一种非常令人作呕的气味，所以其显著颜色也许就是对食虫动物发出的一种不好吃的信号。在某些少数场合中，它们的颜色似乎直接就是保护性的：例如，霍夫曼教授告诉我说，有一种淡红色和绿色的小型物种经常群集在菩提树上，他简直不能把它们同树干上的芽区别开来。

猎蝽科的某些物种能摩擦发音；以善鸣盗猎蝽的例子而言，据说是由于它们的颈在前胸腔内运动而发音[1]。按照韦斯特林的见解，臭虫猎蝽也会摩擦发音。对于非社会性的昆虫来说，除非发音是做为一种性的呼唤，否则发音器官就没有任何用处了。

同翅目

凡是在热带丛林中漫游过的人一定都会对雄蝉发出的喧噪声感到惊奇。雌蝉却默不作声；正如希腊诗人季纳卡斯说的，“乐哉蝉之生活，有妻皆默女。”当“贝格尔”号在离巴西海岸四分之一海里的地方抛锚泊船时，在甲板上就可清楚听到这样的噪音；汉考克船

① 引自韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第2卷，473页。

长说，远在一英里以外的地方就可听到这种噪音。希腊人过去把它们养在笼里，现在中国人还这样做，为的是欣赏它们的歌唱，所以有些人一定感到这是悦耳的声音①。蝉科通常是在白天歌唱，而蜡蝉科好像是夜间的歌手。按照兰多依斯的见解②，这声音是由气门唇边的振动而产生的，气门唇边的振动又是由气管发出的一股气流引起的；但对这个观点最近有所争论。鲍威尔博士似乎证明了③这种声音是由一块膜的振动而产生的，而这块膜则是由一块特别肌肉牵动起来的。在唧唧鸣叫的活昆虫身上，可以见到这片膜在振动；在死昆虫身上，若以针尖拨动那块稍微变干和变硬的肌肉，也可听到其固有的声响。雌虫身上也有这整个的复杂音乐器官，但远不如雄虫的发达，且绝不用以发声。

关于这种音乐的目的，哈特曼博士提到美国的周期蝉(即十七年蝉)时说道④："现在(1851 年 6 月 6 日和 7 日)四面八方都可听到鼓噪声。我相信这是雄者对雌者发出的召唤。我站在高与头齐的满布嫩芽的栗树丛中，成千上百的雄蝉在我的四周，我看到雌蝉飞来环绕着鼓噪的雄蝉周围。"他接着说，"在我的花园里有一株矮生梨树，这个季节(1868 年 8 月)在它上面产生了 50 只左右梨蝉的幼虫；我好几次注意到雌蝉落在一只正发出响亮声调的雄蝉附近。"弗里茨·米勒从巴西南部写信告我说，他常听到属于一个物种的两三只雄蝉用特别响亮的声调进行音乐比赛：一只刚唱完，另一只马上开始，然后又一只接下去。由于雄蝉之间有那么多的竞争

① 这些细节引自韦斯特伍德的《昆虫的近代分类》，第 2 卷，1840 年，422 页。关于白蜡虫科，参阅柯尔比和斯彭斯的《昆虫学导论》，第 2 卷，401 页。

② 《动物科学杂志》(*Zeitschrift für wissenschaft Zoolog*)，第 17 卷，1867 年，152—158 页。

③ 见《新西兰科学院院报》(*Transact. New Zeland Institute*)第 5 卷，1873 年，286 页。

④ 承蒙沃尔什先生把哈特曼博士的《关于十七年蝉行为》(*Journal of the Doings of cicada septemdecim*)的摘要送给我，对此谨表谢意。

者，因而雌蝉大概不仅是根据音响寻找雄蝉，而且也像鸟类的母鸟一样，会被具有最动听的声音的雄蝉所刺激与诱惑。

关于同翅目昆虫雌雄二者之间的装饰差异，我还没听说过任何十分显著的事例。道格拉斯先生告诉我说，有三个英国的物种，其雄者是黑色的或具有黑色带斑，而雌者则颜色浅淡或黯然无光。

直翅目

本目中有三个能跳跃的科，其中雄者都以其音乐能力著称，这三个科是：蟋蟀科、螽斯科和蝗科。有些种螽斯摩擦发音如此响亮，以致夜间在一英里以外都可听到[①]；某些物种的叫声即使在人听起来也很悦耳，因此亚马孙河一带的印第安人把它们养在柳条笼子里。所有的观察家都一致认为这种叫声不是用来召唤就是刺激不会发音的雌者的。关于俄国的迁移性蝗虫[②]，克尔特举出过一个有关雌者选择雄者的有趣例子。飞蝗的雄者当同雌者交配时，如有另一只雄者走近，它就会因愤怒或嫉妒而唧唧叫起来。家蟋蟀在夜间受到惊扰时就会用它的叫声来警告其伙伴[③]。据记载[④]，北美产的穴居扁叶螽（螽斯科的一种）登上树木的顶枝，一到傍晚就开始"发出嘈杂的喧叫，竞争者的叫声也同时在邻近的树上呼应，整个小树林回响着'凯提-底得-施-底得'的叫声，彻夜不休。"贝茨先生谈到欧洲田蟋蟀（蟋蟀科的一种）时说道，"一到傍晚就可看到雄蟋蟀呆在洞口唧唧地叫，一直叫到一只雌蟋蟀到来时，于是叫声就由

① 吉尔丁（L. Guilding），《林奈学会会报》第15卷，154页。

② 我的这一叙述是根据克彭（Köppen）的《飞越俄国南部的蝗虫》（Ueber die Heuschrecken in Südrussland，）1866年，32页，因我极力想弄到库尔特的原著，但未能如愿。

③ 吉尔伯特·怀特（Gilbert White），《塞尔包内博物学》（Nat. Hist. of Selborne）第2卷，1825年，262页。

④ 哈里斯，《新英格兰的昆虫》，（Insects of New England），1842年，128页。

高音转为低音，同时这个成功的演奏家用其触角爱抚着它所赢得的配偶"①。斯卡德博士用一支羽茎在纸夹上摩擦发音就能刺激一只这种昆虫发出叫声来呼应②。冯·西博尔德已经发现雄虫和雌虫的显著的听觉器官位于前肢③。

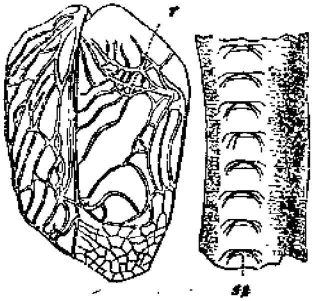


图 11　田蟋(*Gryllus campestris*)(引自兰多依斯)右图是放大很多的翅脉底面的一部分，st 表示上面的齿。左图是翅鞘背面图，上面有翅脉的光滑突起 r，用它与齿(st)交互摩擦。

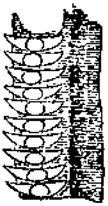


图 12　家蟋(*Gryllus domesticus*)翅脉上的齿(引自兰多依斯)

这三个科的发音方法各不相同。蟋蟀科雄者的两个鞘翅具有相同的器官；田蟋(图 11)的这类器官，像兰多依斯所描述的④，是由 131 至 138 个锐利的、横向的脊或齿(*st*)构成的，这等脊或齿位于鞘翅脉之一的下表面。这种具齿的翅脉同位于相对一翅上表面的一道突出而平滑的硬翅脉(*r*)迅速摩擦。先是一翅向另一翅擦过

① 《亚马孙河上的博物学者》，第 1 卷，1863 年，252 页。贝茨先生对这三个科音乐器官的级进变化做了很有趣的讨论。再参阅韦斯特伍德的《昆虫的近代分类》，第 2 卷，445 和 453 页。

② 见《波士顿博物学会学报》第 11 卷，1868 年，4 月。

③ 《新比较解剖学概论》(Nouveau Manuel d' Anat. Comp.)(法译本)，第 1 卷，1850 年，567 页。

④ 《动物科学杂志》，第 17 卷，1867 年，117 页。

去，然后又是逆向地擦过来。两翅同时稍微抬高，以便提高共鸣的效果。在某些物种中，雄者的鞘翅基部具有一片云母状的板[1]。图12表明家蟋的翅脉下表面的齿。格鲁勃博士曾阐明这等齿是在选择作用的帮助下由覆盖于翅和躯体之上的小鳞片和毛形成的，关于鞘翅目的齿，我得出了相同结论。但格鲁勃进一步阐明这等齿的发展[2]，部分地是直接由于一翅在另一翅上摩擦所产生的刺激。

在螽斯科中，相对的两个鞘翅彼此在构造上有所不同（图13），其摩擦动作不同于蟋蟀科，不能逆向进行。左翅的作用有如提琴的弓，位于作为提琴的右翅之上。左翅底面的翅脉之一具有细齿，在相对的右翅上面的具有突起的翅脉上擦过。在我看来，英国的绿丛螽斯的锯齿状翅脉似乎是与相对另一翅的圆形后角相摩擦后面这张翅的边缘较厚，褐色，很锐利。在右翅上，而不是在左翅上，有一块云母般的透明小板，被翅脉包围着，称为响板。该科另一成员，葡萄距螽，有一种奇妙的次要变化；因其鞘翅大为缩小，但"前胸后部隆起成屋顶状，面超出鞘翅之上，这大概是为了增强声音的效果。"[3]

因此，我们看到螽斯科的音乐器官比蟋蟀科的更加分化或更加特化了，蟋蟀科的两个鞘翅在构造上都是一样，功能也一样[4]。然而，兰多依斯在螽斯科的一种、即黑螽斯属中，发现右翅鞘底面有一行既短又窄、仅是残迹状态的小齿，其右翅位于左翅之下，从不作琴弓之用。我在普通绿螽斯的右鞘翅底边观察到同样的残迹构造。因此我们可以推定，螽斯科是从蟋蟀科传下来的，这个类型

① 见韦斯特伍德的《昆虫的近代分类》，第1卷，440页。

② 《关于螽斯科的发音装置，达尔文主义的贡献》(Ueber der Tonapparat der Locustiden, ein Beitrag zum Darwinismus)，《动物科学杂志》，第22卷，1872年，100页。

③ 韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第1卷，453页。

④ 兰多依斯，《动物科学杂志》，第17卷，1867年，121、122页。

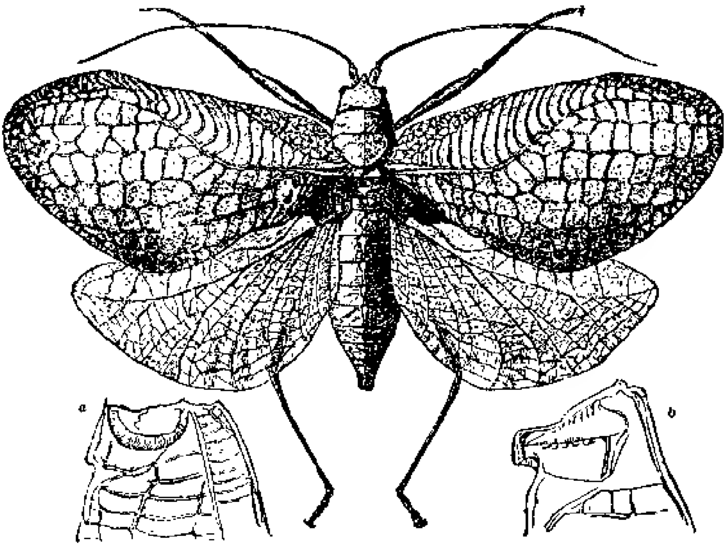


图 13 *Chlorocaelus tanana*(引自贝茨)

a,b. 表示相对的两叶鞘翅。

的两张鞘翅底面都有锯齿状翅脉,面且同样都可作为琴弓之用;但在螽斯科中,这两张鞘翅就逐渐分化而且完善了,按分工原理,一张专门作琴弓用,另一张则作提琴用。格鲁勃博士持有相同的观点,他曾阐明残迹齿状物一般见于右翅的下面。蟋蟀科这种比较简单的器官是经过怎样步骤发生的,我们还弄不清楚,但大致的情况可能是这样:两张鞘翅的基部就像它们现在那样地彼此重叠;其翅脉摩擦所产生的音响是嘎嘎的,同现在雌虫鞘翅摩擦发出的声音

一样[①]。雄者偶而或意外发出的这样嘎嘎声，如果对雌者曾起过哪怕是一点爱情召唤的作用，大概就会容易地在性选择的作用下通过翅脉粗糙化的变异而得到加强。

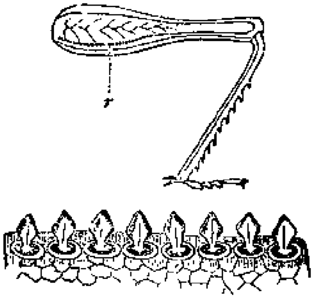


图 14 草蝗(*Stenobothrus pratorum*)的后肢 r. 摩擦发音的脊；下图是放大很多的组成这条脊的齿。(引自兰多依斯)

在蝗科中，其摩擦发音则是按照很不相同的一种方式进行的，按照斯卡德博士的说法，其叫声远不及前两个科那样尖锐。在其腿节内表面(图 14，*r*)有一列纵向的、小巧灵珑的口针状弹性齿，齿数 85 到 93 个[②]；这些齿状物在鞘翅的锐利而突出的翅脉上擦过，就这样引起鞘翅振动而发出声响。哈里斯说[③]，当一只这种雄虫开始鸣奏时，它先"把后腿的胫节弯到股节之下，那里预先设计有道小沟以容纳之，然后把腿轻快地上下移动。两边的提琴并不一起演奏，而是先奏一边再奏另一边，交替进行。"在这一科的许多物种中，其腹基凹陷，成一大空腔，据信这是作为共鸣板之用的。属于本

① 沃尔什先生还告诉我说，他曾注视过穴居扁叶螽的雌虫"被捉住时它们的鞘翅就会在一起摩来摩去，发出一种微弱的摩擦声"。

② 兰多依斯，《动物科学杂志》，第 17 卷，1867 年，113 页。

③ 《新英格兰的昆虫》，1842 年，133 页。

科一个南非的属，叫作牛蝗（图 15），在这里我们遇到了值得注意的新变异；其雄者从腹部两边斜着各伸出一道具有小缺刻的脊，与

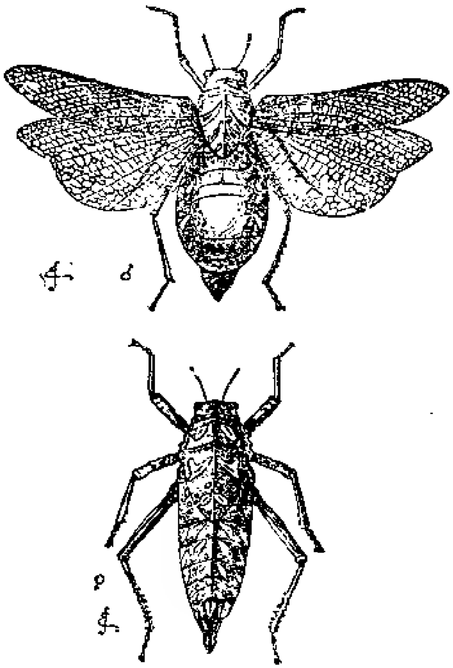


图 15　牛蝗（*Pneumora*）（根据大不列颠博物馆的标本绘制）。
上图为雄虫；下图为雌虫。

后股节互相摩擦[1]。值得注意的是，尽管这种雄虫有翅（雌虫无翅），但股节不像通常那样同翅鞘相摩擦；不过这一点也许可用后肢异常短小的情况来解释。我未能检查其股节的内面，但根据类

① 韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第 1 卷，462 页。

推，可以判断那里大概有细齿。牛蝗属的诸物种在摩擦发音方面所发生的变异比其他任何直翅类昆虫都更为深刻；因为，其雄者全身已经变成一个乐器，体内充满空气面膨胀，像一个透明大气胞，以便增强共鸣的效应。垂门先生告诉我说，在好望角这些昆虫每到夜间就发出令人吃惊的喧嘈声。

在以上三个科中，雌虫几乎总是缺少某种有效的音乐器官，但这个规律也有少数例外，因为格鲁勃博士曾阐明葡萄距螽的雄虫和雌虫都有这类器官，尽管它们的这类器官仍存在某种程度的差异。因此，我们不能假定这类器官是由雄者传递给雌者的，而许多其他动物的次级性征似乎就是这样。它们必定是分别在雌雄双方独立发展起来的，这些雄虫和雌虫一到求偶季节无疑就互相召唤。螽斯科大多数其他昆虫的雌者（据兰多依斯说黑螽斯属除外）具有雄者所特有的摩擦发音器官的残迹，这大概是由雄者传递来的。兰多依斯还在蟋蟀科雌虫的鞘翅底面和蝗科雌虫的腿节上找到这类残迹物。在同翅目中，雌虫也具有丧失作用的这种特有的音乐器官；此后我们还会在动物界其他部门中遇到许多这类的事例，即雄者所特有的构造在雌者身上表现为残迹状态。

兰多依斯观察了另一个重要事实，即，蝗科雌虫腿节上摩擦发音的齿终生保持不变其形态和其最初出现于雌雄幼虫期的形态是同样的。另一方面，雄者的这类器官则继续进一步发育，当它们最后一次蜕皮、即已经成熟并准备繁殖的时候，这类器官就获得了完善的构造。

从现在已经举出的事实来看，我们知道直翅目雄虫的发音手段是极其多种多样的，而且和同翅目所使用的发音手段完全两

样①。然而在整个动物界里我们常常发现可用极其多样的手段来达到同一个目的；这似乎是由于世世代代以来整个体制经历了各种各样的变化，在一部分跟着一部分发生变异时，不同的变异都给同一个总目的带来了好处。直翅目这三个科的以及同翅目的各种各样的发音手段给我们留下的深刻印象是，这类构造为了雄虫召唤和诱惑雌虫是高度重要的。根据斯卡德博士的卓越发现②，我们现在知道直翅目有用之不尽的时间在这方面发生变异，所以我们就无须对它们的变异量之大感到惊奇了。这位博物学家最近在新不伦斯威克泥盆纪形成的地层中发现了一只化石昆虫，它具有"螽斯科雄虫的著名的鼓膜或摩擦发音器官"。这种昆虫虽然在大多数方面同脉翅目有关系；但似乎把两个有关系的目、即脉翅目和直翅目连接起来了，有许多很古老的类型都是如此。

关于直翅目，我还要略谈一二。有些物种非常好斗：当两只雄田蟋关在一块时，它们就会斗到其中一只被杀死为止。中国人把蟋蟀养在小泥盆里，使它们相斗③，就像斗鸡一样。在颜色方面，有些外地的蝗虫装饰得很漂亮；后翅有红、蓝、黑的斑点；但就整个这个"目"来说，雌雄二者在颜色上很少有大的差异，它们的鲜艳色彩大概不是由于性选择所致。鲜明颜色对这些昆虫的用处可能是要引起其他动物注意它们是不好吃的。例如，有人观察过④把一只色彩鲜艳的印度蝗虫给鸟类或蜥蜴去吃时，它们总是拒食。然而已经知道有几个例子表明在这个"目"中雌雄体色有差异。有一种雄的美

① 兰多依斯最近发现了某些直翅目昆虫的残迹构造和同翅目昆虫的发音器官非常近似，这是一个令人吃惊的事实。参阅《动物科学杂志》，第22卷，第3册，1871年，348页。

② 《昆虫学会会报》，第3辑，第2卷，(《会报杂志》，117页)。

③ 见韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第1卷，427页，有关蟋蟀的资料，见445页。

④ 霍恩(Ch. Horne)先生，见《昆虫学会会报》，1869年，5月，12页。

国蟋蟀[1]被描写白得像象牙一般，而雌者的颜色则变化不定，从接近白色到青黄色或微黑色的都有。沃尔什先生告诉我说，*Spectrum femoratum*（竹节虫科 Phasmidae 的一种）的雄性成虫"具有发亮的褐黄色；雌性成虫则呈暗淡无光的灰褐色；而雌雄两性的幼虫都是绿色的"。最近，我还要提一下，有一种奇异种类的蟋蟀[2]，其雄者具有"一个长的膜质附器，就像一幅面纱似地将其脸部盖住"；但什么是它可能的用途，还不清楚。

脉翅目

除颜色外，在这里没有什么值得一谈。在蜉蝣科中，雌雄二者在其暗淡颜色上往往稍有差异[3]；但这大概不致于使雄者因此就能吸引雌者。蜻科以鲜艳的绿色、蓝色、黄色和朱红的金属色彩来装饰自己；雌雄二者在体色上常有差异。例如，像韦斯特伍德教授所述说的[4]，有些螅科昆虫的雄者"具有浓艳的蓝色和黑色翅膀，雌者则呈优雅的绿色而翅膀无色。"但在红色螅中，其雌雄二者的颜色正好同上述相反[5]。北美有一个大属，叫作宽角阎虫属，只有雄者在每个翅基部具有洋红色的美丽斑点。有一种蜻蜓，其雄者的腹基部呈鲜艳的绀青色，而雌者的则呈草绿色。另一方面，在一个亲缘关系密切的箭蜓属中以及另外一些属中，雌雄二者在体色上

① 即雪白树蟀（*OEcanthus nivalis*），《新英格兰的昆虫》，1842 年，124 页。我听维克托·卡拉斯（Victor Carus）说，欧洲透明树蟀（*OE. pellucidus*）的雄虫和雌虫的差异也几乎一样。

② 即扁叶蟖（*Platyblemus*）见韦斯特伍德的《昆虫近代分类》，第 1 卷，447 页。

③ 沃尔什，《伊利诺斯的拟脉翅类昆虫》(Pseudoneuroptera of Illinois)，见《费城昆虫学会会报》(*Proc. Ent. Soc. of Philadelphia*)，1862 年 361 页。

④ 《昆虫的近代分类》，第 1 卷，37 页。

⑤ 沃尔什，同上书，381 页。以下有关 Hetaerina、Anax 和 Gomphus 的材料，是由这个博物学家提供的，谨此致谢。

的差别很小。在整个动物界的亲缘关系密切的诸类型中，与此相似的情况经常出现，即，有些雌者和雄者的体色差别很大，有些差别很小或没有差别。虽然许多种蜻蜓的雌雄二者在体色上差别很大，但往往很难说何者更漂亮；而且如我们刚刚见到的，在色蟌属的一个物种中，雄者和雌者的正常体色却互相颠倒了。它们在任何情况下所获得的颜色大概都不是作为保护之用的。对这一科昆虫曾经密切研究过的麦克拉克伦先生写信告诉我说，蜻蜓是昆虫当中最不容易受到鸟类和其他敌害的攻击的，他相信它们的鲜艳色彩是用来吸引异性的。某些蜻蜓显然受特殊的颜色所吸引：帕特逊先生曾观察到[①]其雄者为蓝色的蟌科成群地落在一根钓丝的蓝色浮子上，同时另外两个物种却受耀眼的白色所吸引。

有一个有趣的事实，首先是谢尔沃注意到的，即，在隶子两个亚科的几个属中，其雄虫最初从蛹的状态羽化时在体色上同雌虫的一模一样；但不久它们的身体就呈现出显著的乳蓝色，这是由于有一种可溶于乙醚和酒精的油类分泌出来的原故。麦克拉克伦先生相信窄腹蜻的雄虫要在变态后过将近两周准备交配时，才发生这种颜色的变化。

按照布劳尔的说法[②]，脉翅目的某些物种表现了一种奇妙的二态现象，有些雌虫具有正常的翅，同时另外一些雌虫则“像同种雄虫的翅一样具有很丰富的网脉。”布劳尔“用达尔文的原理解释这现象，假定翅脉紧密相接乃是雄虫的一种第二性征，这种性征并不像一般情况那样传递给所有雌虫，而是突然地传递给一部分雌虫。”麦克拉克伦先生给我讲过另一个二态现象的例子，是关于色蟌属的几个物种的，在这些物种中有些个体是橙色的，它们必定是雌虫。这大概是返祖的一例；因为在纯系的蜻蜓科中，当雌雄二者

① 《昆虫学会会报》，第1卷，1836年，81页。

② 参阅1867年《动物学纪录》的摘要，450页。

在体色上有所差异时，则雌虫都是橙色或黄色的，所以假定色蟌属起源于某个原始类型，这个原始类型在其第二性征上同典型的蜻蜓类相似，那么只在雌虫方面出现按照这种方式发生变异的一种倾向也就无足为奇了。

许多蜻蜓虽然都是大型的、强有力的、而且凶猛的昆虫，但麦克拉克伦先生相信，除了色蟌的一些体型较小的物种外，他还没有见过雄蜻蜓互相搏斗的情形。在这个"目"的另一类群中，即白蚁类，当它们大群出动时，可以看到雌雄二者相互追逐，"雄蚁追在雌蚁后面，有时两只雄的共追一只雌的，以巨大的激情互相竞争，看谁能占有雌者。"[1] 据说有一种粉啮虫会用颚发出喧嘈声，此呼彼应[2]。

膜翅目

卓越的观察家法布尔[3] 在描述一种类似黄蜂的昆虫——砂蜂属的习性时说道，"为了占有某只特殊雌虫，雄虫之间屡屡发生争斗，雌虫则坐以观战，一旦胜负分晓，它就安然地同胜利者一块飞去。"韦斯特伍德说[4]，有一种叶蜂科的雄虫"在争斗中互相用上颚紧紧咬住不放"。由于法布尔提到节腹泥蜂属的雄虫努力去获得一只特殊雌虫的情况，因此应好好记住隶于这个"目"的昆虫经过一段长时间后仍有互相识别的能力，而彼此深深依恋。例如，胡伯尔的精确观察写道，他曾把某些蚂蚁分开，四个月后，它们又碰到原来属于同一群体的其他蚂蚁，彼此都能相识并用触角相互爱抚。如

① 柯尔比和斯彭斯，《昆虫学导论》，第2卷，1818年，35页。

② 乌佐(Houzeau)，《论智力》，第1卷，104页。

③ 参阅一篇有趣的文章，《法布尔的著作》(The Writings of Fabre)，见《博物学评论》，1862年，4月，122页。

④ 《昆虫学会会报杂志》，1863年，9月7日，169页。

果碰到的是陌生的蚂蚁，就不免于争斗。再者，当两群蚂蚁发生战争时，有时在一片混战中同一边的蚂蚁也会互相攻击，但它们很快就会发现错误，其中一只连忙安慰另一只①。

在这个目中，体色依性别不同而有轻微差异是常见的，但除蜜蜂科外，很少有显著差异；然而某些类群的雌雄体色是那么鲜艳——例如青蜂属常见的体色是朱红和金绿色——以致诱使我们把这种结果归因于性选择。根据沃尔什先生的见解②，姬蜂科雄虫的体色几乎普遍都比雌虫的浅。另一方面，叶蜂科雄虫的体色一般都比雌虫的深。在树蜂科中，雄雌的体色常常不同，因此小树蜂的雄虫具有橙色的带斑，而雌虫则呈暗紫色；但很难说二者之中何者装饰得更好。在鸽形树蜂中，雌虫的体色比雄虫的鲜明。史密斯先生告诉我说，有几个物种的雄蚁呈黑色，而雌蚁则呈黄褐色。

我听一位昆虫学家史密斯先生说，在蜜蜂科中，特别是在独居的物种中，雌雄的体色常常不同。雄者一般都较鲜明，在熊蜂属以及在 *Apathus* 这一蜂属中，雄虫体色的变异比雌虫的大。青条蜂的雄虫具有一种浓艳的暗黄褐色，而雌虫则呈全黑色；木蜂属几个物种的雌虫也是如此，而雄虫则是鲜黄色的。另一方面，有些物种的雌虫，如金黄地蜂，其体色比雄虫的鲜明。体色上的这类差异几乎不能以下面的说法来解释，即雄虫缺乏自卫能力因而需要这样的保护色，而雌虫则可凭借其螫针来很好地进行自卫。对蜜蜂习性作过特别研究的米勒③把这种体色差异主要归因于性选择。蜜蜂对颜色有一种敏锐感觉是肯定的。他说，雄蜂热切地寻求雌蜂并为占有她而斗争；他把这种竞争看作是导致某些物种的雄蜂的颚大于雌蜂的原因。在某些场合中，雄蜂的数量不论在季节的早期或在所

---

① 胡贝尔(Huber)，《蚁类习性的研究》，1810 年，150，165 页。
② 《费城昆虫学会会报》，1866 年，238—239 页。
③ 《达尔文学说在蜜蜂中的应用》，见《动物比较解剖学年刊》，第 29 卷。

有时间和所有地点或地区性地都比雌蜂多得多；反之，在另外一些场合中，雌蜂的数量又超过雄蜂。有些物种的较美丽的雄蜂似乎是雌蜂选择的对象；另外一些物种的较美丽的雌蜂似乎又是雄蜂选择的对象。结果在某个属中有几个物种的雄蜂在外貌上彼此差异很大，而雌蜂几乎没有差别；在另一个属中情况则相反。某一性别通过性选择所获得的颜色往往以不同的程度传递给另一性别，就像雌蜂的花粉采集器官往往会传递给雄蜂一样，尽管对后者来说这种器官是根本无用的①。

欧洲蚁蜂会摩擦发出喧嘈的声音；按照古罗②的说法，其雌雄二者都有这种能力。他认为声音是由第三腹节同前一个腹节摩擦发出的，我发现在这等表面有很细的同心的隆起线；但在头与前胸分节处突出的骨片上也有这样的隆起线，如果用针尖在该骨片上一划，就会发出其特有声响。由于雄虫有翅而雌虫无翅，因此两者都有发音能力是相当奇怪的。众所周知，蜜蜂类以嗡嗡的叫声表达某些像愤怒那样的感情。

① 佩里埃《达尔文以后的性选择研究》(La Sélection sexualle d'après Darwin)(见《科学评论》,1873年2月,868页),他在这篇文章中显然未经深思熟虑就提出异议,认为既然社会性的雄蜂是公认由未受精卵产出来的,它们就不会把新性状传递给其雄性后代。这真是一个不同寻常的异议。一只雄蜂如果具有便于两性结合的某种性状或者具有更能吸引雌蜂的某种性状,那么,被它受精的雌蜂所产下的卵将只育出雌蜂;但这些新育成的雌蜂在第二年还会生育出雄蜂,能说这等雄蜂不会承继其祖父雄蜂的性状吗?让我们从普通动物中尽可能举出一个近似的例子:如果有一只雌白色四足兽或鸟同一只雄黑色品种杂交,杂种后代的雌雄二者又互交,能说这个杂种第二代不会把它们祖父的黑色倾向承继下来吗?不育的工蜂获得新性状是一个难得多的问题,但在我的《物种起源》一书中,我尽力阐明了这些不育的生物是如何被自然选择力量所左右的。

② 韦斯特伍德引用,见他写的《昆虫的近代分类》,第2卷,214页。

鞘翅目

许多甲虫的颜色都同它们常来常往的地面相似，从而避免被其敌害发觉。其他物种，如南美的一种亮壳甲虫①，则饰以美丽的颜色，组成条纹、斑点、十字花纹以及其他优雅的款式。除非在某些食花物种的场合中，这等颜色几乎不起保护作用；但根据萤火虫散出萤光的同样原理，这等颜色可能作为一种警号或识别手段。由于甲虫雌雄二者的颜色一般相像，所以我们无法证明这等颜色是通过性选择获得的；但这是可能的，因为这等颜色可能先在性别的一方发育然后再传递给另一方；这个观点对那些具有其他十分显著第二性征的类群也可能适用。盲甲虫当然不能见到彼此的美丽，听小沃特豪斯先生说，它们虽然往往有光滑的外鞘，但决不会呈现鲜艳的色彩；但对于其颜色的晦暗可能做如下解释，即，由于它们一般居住在洞穴中和其他阴暗地方的缘故。

有些天牛，特别是某些锯天牛科甲虫，却在雌雄颜色无差别这个规律之外。大多数这等昆虫都是大型的，颜色华丽。我在贝茨先生的采集品中看到，锯天牛属② 的雄虫颜色一般与其说比雌虫红些莫如说暗些，雌虫或多或少地具有美丽的金绿色。另一方面，有

---

① 学名 *chrysolopus spectallis*，通译钻石象。——译注

② 贝茨先生在《昆虫学会会报》1869 年第 50 页曾描述过锯天牛(*Pyrodes pulcherrimus*)雌雄二者的明显差异。我将举出少数我听到的例子来说明甲虫雌雄二者在颜色上的差异。柯尔比和斯彭斯(《昆虫学导论》，第 3 卷，301 页)提到一种花萤(*Cantharis*)、油芫青(*Meloë*)、*Rhagium* 和砖色天牛(*Leptura testa cea*)；后者雄虫呈砖瓦色，胸部黑色，而雌虫全身暗红色。后面这两种甲虫都属于天牛科。垂门和小沃特豪斯(Waterhouse，jun)，二位先生向我说过两种鳃角组甲虫的情况，一种是缘甲类(Peritrichia)，一种是斑金龟(*Trichius*)，后者雄虫颜色比雌虫晦暗。长形郭公虫(*Tillus elongatus*)雄虫呈黑色，雌虫据说呈暗蓝色，胸部为红色。沃尔什先生说有一种负泥虫(*Orsodacna atra*)，其雄虫也呈黑色，而雌虫(所谓 *O. ruficollis*)的胸部则呈赤褐色。

一个物种的雄虫是金绿色的，而雌虫则具有鲜艳的紫红二色。在属中，雌雄二者的颜色差别如此之大，以致被列为不同的物种；有一个物种，其雌雄二者都具有美丽的鲜绿色，但雄者的胸部则呈红色。总之，按照我所能判断的来说，雌雄颜色不同的锯天牛类，其雌虫颜色要比雄虫的更艳丽，这一点同经过性选择获得颜色的普通规律是不相符的。

许多甲虫雌雄之间最明显的一个区别就是雄虫由头部、胸部和唇基等处长出的巨角；在少数场合中是从躯体底面长出来的。在庞大的鳃角组中，它们的角同各种四足兽，如公鹿、犀牛等角相似，不论其大小还是其各式各样的形状都令人吃惊。为了免去描述，我举出了一些比较显著的类型的雄虫和雌虫的绘图（图 16 到图 20）。雌虫一般以小瘤或隆起的形式来表示角的残迹；但有些雌虫甚至连最细小的残迹物也没有。另一方面针角亮蜣螂雌虫的角几乎同雄虫的一样发达；该属以及小犀头属的另外一些物种，其雌虫的角虽也发达，但比雄虫的稍差。贝茨先生告诉我说，这等角的差别同本科某些亚部之间更为重要的性状差异并不一致：例如，在屎蜣螂属的同一部中，有的物种只生单独一只角，另外的物种则生两只角。几乎在所有情况下，这等角都以它们的极端变异性而著称，故可形成一个级进的系列，从具有最高度发达的角的雄虫到角已退化到仅仅能同雌虫加以区别的其他雄虫。沃尔什先生① 发现在闪亮蜣螂中，有些雄虫的角长为其他雄虫的三倍。贝茨先生对 100 只以上屎蜣螂（图 20）的雄虫进行了调查之后，认为他发现了一个新种，它的角没有发生过变异；但进一步的研究证明事实正好相反。

角的异常之大以及在近亲类型中角的构造的巨大差异都表示这些角是为了某种目的而形成的；但同一物种的雄虫的角表现了

① 《费城昆虫学会会报》，1864 年，228 页。

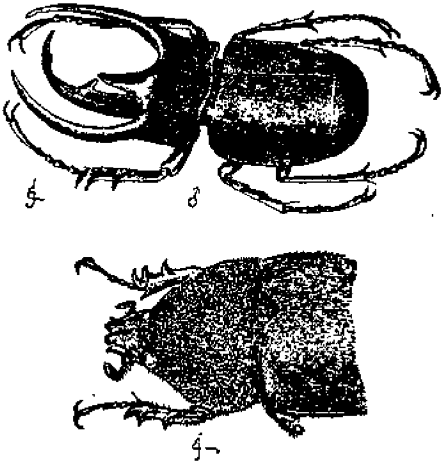


图 16 咖啡独角仙(*Chalcosoma atlas*)
上图是雄虫(缩小);下图是雌虫(原大)

图 17 小犀头(*Copris isidis*)(左图是雄虫)

极端的变异性,这便引导我们推论这种目的并不具有确定的性质。这些角没有露出曾用于任何正常工作的摩擦痕迹。有的作者设

图 18　地区亮蜣螂(*Phanaeus faunus*)

图 19　广东金龟子(*Dipelicus cantoni*)

想[①]雄虫到处漫游远比雌虫为甚，所以它们需要角以抵御敌害，可是由于这些角往往都是钝的，因此它们似乎并不适于防御之用。最明显的猜测乃是雄虫用这等角彼此相斗；可是从未见过雄虫相斗；贝茨先生详细检查了为数众多的物种以后，也没有能够从它们残断或破碎的状态中找到任何充分的证据来证明这等角曾用于相斗。如果雄虫是惯常的斗士，那么，它们的躯体大概就会通过性选择而增大，以至超过雌虫的躯体；但贝茨先生对金龟子科的 100 个物种以上的雌雄二者作了比较之后，也没有在发育良好的个体中

① 柯尔比和斯彭斯，《昆虫学导论》，第 3 卷，300 页。

图 20 屎蜣螂(*Onthophagus rangifer*)放大

找到任何这方面的显著差异。此外,大头类金龟是属于鳃角组这同一大部的一种甲虫,据知其雄虫是相斗的,但它们没有角,虽然它们的上颚要比雌虫的大得多。

有一种结论说这等角是作为一种装饰而被获得的,这同下述事实最相符合:即这等角已发展到如此巨大的地步,却还没有固定下来,——在同一物种中角的极端变异性以及在亲缘密切的物种中角的多样性都阐明了这一点。最初看来,这种观点好像极不可能;但我们以后将在许多远为高等的动物中,如鱼类、两栖类、爬行类和鸟类,发现各种各样的脊突、瘤状物、角和肉冠显然都是为了这唯一目的而发展起来的。

有叉角蜣螂(图 21),其雄虫以及本属一些其他物种的雄虫在其前肢节上都具有奇特的突起,并在其胸部底面生有一只大形叉角或一对角。根据其他昆虫来判断,这等构造可能有助于雄虫紧紧抱住雌虫。雄虫虽然在躯体的上部表面连一点角的残迹也没有,但雌虫头上却明显地呈现着一个单角的痕迹(图 22,a),并在胸部有一个胸突(图 22,b)。雌虫这种微小的胸突显然是雄虫所特有的一种突起的残迹,虽然这个特殊物种的雄虫完全没有这种突起;因为野牛布蜣螂的雌虫在其胸部具有一个同样的小突起,而雄虫却在同一部位长出一个大突起。因此几乎毫无疑义的是,叉角蜣螂的雌

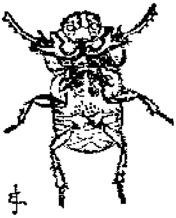


图 21 叉角蜣螂
(*Onitis furcifer*)
雌虫底面图

图 22 左方为叉角蜣螂雄虫的侧面图
右方为雌虫图。
a. 头角的残迹。 b. 胸角或胸突的残迹。

虫头上的那个小点以及两三个亲缘相近的物种的雌虫头上的小点，都是代表头角的一种残迹，这种头角实为许多鳃角组甲虫的雄者所共有，如亮蜣螂图(18)就是如此。

旧的观念认为这等残迹物是为了完成自然界的计划而被创造出来的，这同实际情况非常不符，与我们在这一科中所看到的正常状态正好完全相反。我们可以合理地猜测最初是雄虫生角，后来以残迹的状态把它们传递给了雌虫，正如其他许多鳃角组甲虫的情况那样。为什么雄虫后来失去了角，我们还不清楚；但由于其躯体底面发育了巨大的角和突起，这可能是由补偿原理所引起的；而且由于这只限于雄虫才有，所以雌虫上部的残迹角就不会这样消失掉。

迄今为止我们所举的例子都是关于鳃角组甲虫的，还有少数其他雄甲虫属于两个大不相同的类群，即像虫科和隐翅虫科，也都有角——前者的角在躯体的底面[①]，后者的角则生于头部和胸部的上面。在隐翅虫科中，同一物种的雄虫的角变异多端，正如我们

① 柯尔比和斯彭斯,《昆虫学导论》,第 3 卷,329 页。

在鳃角组甲虫中所看到的那样。在扁鳖中,我们看到一个二态现象的例子,因其雄虫可分成两组,在躯体大小及角的发达等方面都有巨大差异,且无居间的级进。关于隐翅虫的一个物种(图 23),韦斯特伍德教授说道,"在同一地方能够找到的雄虫标本,有的胸部中央角很大,但头角完全处于残迹状态;有的胸角则非常短,但头部突起却是长的。"[①] 这里我们显然看到了一个补偿的例子,刚才提到的雄叉角蜣螂失去上部角的设想,也可借此得到解释。

图 23　一种隐翅虫(*Bledius taurus*)放大图,左图雄虫;右图雌虫。

战斗的法则

有些雄甲虫似乎不适于战斗,然而为了占有雌虫也照样卷入冲突。有一种喙很长的线状甲虫,叫 *Leptorhynchus angustatus*,华莱士先生[②] 见过两只这种雄虫"为一只雌虫而战斗,后者则在一旁忙于钻孔。这两只雄虫用喙相互冲撞,用爪抓来抓去,砰砰地打来打去,显然处于激怒中。"然而较小的雄虫"很快跑开了,承认自己打败了。"在少数场合中,雄甲虫由于具有比雌甲虫上颚大得多的刻齿的巨大上颚,很适于战斗。常见的鹿角锹甲就是如此,其雄虫

① 《昆虫的近代分类》,第 1 卷,172 页;扁鳖,172 页。在大不列颠博物馆我见过一只扁鳖的雄虫标本处于中间类型,因此这二态现象不是严格的。

② 《马来群岛》,第 2 卷,1869 年,276 页。赖利(Riley),《关于密苏里州昆虫的报告》(Report on Insects of Missouri),1874 年,115 页。

比雌虫约早一周从蛹羽化，因而往往可以见到若干雄虫追逐同一只雌虫。在这个季节内，它们的冲突进行得很激烈。当戴维斯先生[①] 把两只雄虫和一只雌虫关在一个盒内时，大的雄虫猛钳小的雄虫，直到后者放弃了它的要求。一位朋友告诉我说，有个小孩常把雄虫放到一块看它们相斗，他注意到它们就像高等动物那样都比雌虫勇敢而凶猛。要是捉拿雄虫的前部，它们就会抓住他的指头不放，而雌虫虽有更强大的上颚却不会这样。锹甲科许多种类的雄虫以及上述 *Leptorhynchus* 的雄虫，都大于雌虫，而且更有力量的大头粪金龟的雌雄二者同住一穴；雄虫的上颚比雌的大。如果有一只陌生雄虫在繁殖季节企图撞入洞穴里来，就会受到袭击；雌虫不是处于被动地位，而是堵住洞口，并不断地从后面推其伴侣向前以资激励；战斗将一直持续到入侵者被杀死或逃走才告终[②]。另一种疤痕金龟的雌雄二者成双成对地生活在一起，而且似乎彼此非常依恋；雄虫鼓励雌虫去滚动粪球，产卵其中；如果雌虫被移走，雄虫就变得非常焦躁不宁。若雄虫被移走，雌虫就会停止一切工作，而且如布律勒里[③] 所相信的，她将留在同一地点不去，直到死去。

锹甲科雄虫的巨大上颚在大小和构造两方面都是极其易变的，在这方面，同许多鳃角组和隐翅虫科雄虫的头角和胸角相类似。因而介于装备最好的类型和装备最差或退化的类型之间的一个完整系列得以形成。普通锹甲的、可能还有其他许多物种的上颚虽是用作战斗的有效武器，但其上颚之大是否也能如此解释尚属疑问。我们已知道北美洲的大锹甲是用上颚去抓握雌虫的。由于

① 见《昆虫学杂志》(*Entomological Magazine*)第1卷，1833年，82页。关于这个物种的冲突问题，参阅柯尔比和斯彭斯的《昆虫学导论》，第3卷，314页，韦斯特伍德的《昆虫的近代分类》，第1卷，187页。

② 引自费舍尔(Fischer)，见《博物分类学辞典》(Dict. Class. d'Hist. Nat.)第10卷，324页。

③ 《法国昆虫学会年报》(*Ann. Soc. Entomolog. France*)，1866年，默里(A. Murry)在其《旅行记》(1868年，135页)一书中曾加以引用。

它们如此显眼并具有如此优美的分枝，再加上长度大，因而并不十分适于抱握雌虫；我脑子里交织着这样猜测，即它们可能附带有装饰的作用，正如上述各个不同物种的头角和胸角那样。智利南部的巨颚甲虫雄虫——属于同一科的一种美丽甲虫——具有异常发达的上颚（图 24）；它勇猛而好斗；当遇到威胁时，它就转过身来，张开巨颚，同时摩擦发出高叫。但其上颚不够有劲，挟住我手指还感不到疼。

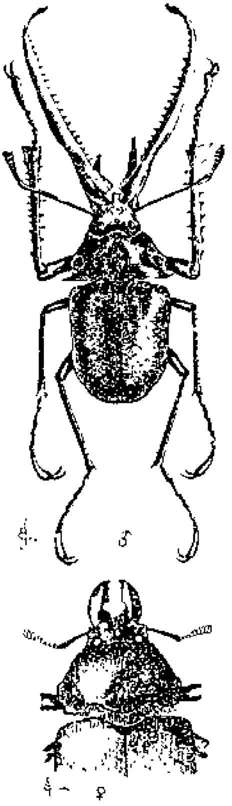


图 24 巨颚锹甲（*Chiasognathus grantii*），缩小，上图为雄虫；下图为雌虫。

意味着具有相当的知觉能力和强烈情欲的性选择对鳃角组甲虫比对任何其他科的甲虫似乎更加有效。有些物种的雄虫具有战斗的武器；有些物种成对生活，显示有相互的爱情；许多物种受到刺激时都有摩擦发音的能力；许多物种具有异常大的角，显然是作为装饰之用；有些物种具昼间活动的习性，它们的颜色都很华丽。最后，世界上最大的几种甲虫都属这一科，林纳和法布尔都把这一科分类在鞘翅目之首[1]。

① 韦斯特伍德，《昆虫的近代分类》，第 1 卷，184 页。

摩擦发音器

许多差别很大的科的甲虫都具有这类器官。这样发出的声音有时在几呎、甚至几码外仍可听到①,但是这种声音是无法同直翅目发出的声音相比的。这种音锉一般是由一个稍微升起的窄表面构成的,其上横亘着很细的平行肋状突起,有时如此之细,致成虹色,而且在显微镜下显出一种很漂亮的模样。在某些场合中,如歹粪金龟属,其音锉整个周围表面布满了硬毛状或鳞片状微小突起,差不多成为平行线,由此逐渐过渡到音锉的肋状突起。这一过渡的完成是靠着那些微小突起汇集成一条直线,而且变得更突出和平滑。躯体的邻接部位上有一条硬脊作为音锉的刮具之用,但在某些场合中,为了这种用途,该刮具已经发生过特殊改变。它迅速地刮过音锉,或者反过来,音锉擦过刮具。

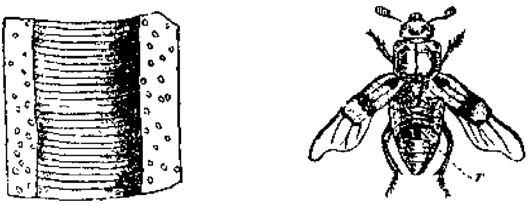


图 25 埋葬虫(兰多依斯提供)r. 两个音锉。
左图是高度放大的音锉一部分。

这类器官所处的位置很不相同。埋葬虫② 有两片平行的音锉

① 沃拉斯顿(Wollaston),《关于某些鸣叫悦耳的象虫科》(On certain Musical Curculionidae),见《博物学杂志年刊》,第 6 卷,1860 年,14 页。

② 此类甲虫见鼠等小动物的尸体,则掘尸旁之土为穴,使之陷入土中而食之,故名,一名食尸甲。——译注。

(图25,r),位于第五腹节背面,每片音锉①由126到140条细肋状突起构成。这些肋状突起同鞘翅的后缘互相刮拨,后者的一小部分伸出其一般轮廓之外。许多负泥虫科甲虫、四星锯角叶甲虫(叶甲科Chrysomelidae的一种)以及拟步甲科某些甲虫②的音锉都位于腹部的背端,即臀板或前臀板之上,也是用鞘翅按上述同样方式刮拨。属于另一科的异角类,其音锉位于第一腹节的两侧,而用腿节上的隆起线刮拨③。某些像虫科和步甲科④,其发音部分的位置则完全颠倒,因其音锉位于鞘翅的下表面,接近翅尖或沿着翅的外缘那一部分,而腹节的边缘则用作刮具。赫氏龙虱(龙虱科Dytiscidae或水甲虫的一种)有一条坚固的隆起线靠近鞘翅接合缝的边缘并与之平行,且诸肋状突起横过其上,这些肋状突起中央粗而两端逐渐变细,上端特别细;当在水中或空中把这种昆虫抓住时,它就用腹部的极度角质化边缘刮拨音锉,发出一种唧唧叫声。大量的长角甲虫的这类器官位置则完全不同,其音锉位于中胸,而同前胸互相摩擦;兰多依斯在英雄天牛的音锉上数出238条很细的肋状突起。

许多鳃角组昆虫都有摩擦发音能力,但发音器官的位置大不相同。有些物种摩擦发出的声调很高,以致当史密斯先生捉到一只

---

① 兰多依斯,《动物科学杂志》,第17卷,1867年,127页。

② 克罗契(Crotch)先生曾送给我属于这三个科以及其他科的各种甲虫的许多制成标本和有价值的资料,对此我非常感激。他认为锯角甲虫的摩擦发音能力以前没有发现过。我也非常感激詹森(E. W. Janson)先生提供的资料和标本。我要补充一点,鼠形皮蠹(*Dermestes murinus*)会摩擦发音,是我的儿子F. 达尔文先生发现的,但没有找到发音器官。查普曼博士(Chapman)最近描述过棘胫小蠹虫(*Scolytus*)是一种能摩擦鸣叫的昆虫,见《昆虫学家月刊》(Entomologist's Monthly Review)第6卷,130页。

③ 引自席厄德(Schiödte),其译文见《博物学年刊杂志》,第20卷,1867年,37页。

④ 韦斯特林描述过[克罗耶尔,《博物学文集》(Naturhist. Tidskrift)第2卷,1848—1849年,334页]这两科以及其他科的摩擦发音器官。在步行虫科中,我检查了克罗契先生送给我的粘滑斑蝥(*Elaphrus uliginosus*)和*Blethisa multipunctata*,根据我所能作出的判断来说,Blethisa腹节绉边上的横向隆起线并没有刮拨鞘翅音锉的作用。

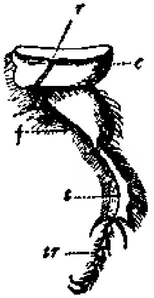


图 26 粪金龟(*Geotrupes stercorarius*)
(引自 Landoia)后肢图.
r. 音锉;c. 基节;f. 股节;
t. 胫节;tr. 跗节。

砂皮金龟时,站在旁边的一位猎物看守人竟以为他逮住了一只老鼠;但我没有发现这种甲虫特有的发音器官。在粪金龟和歹粪金龟中,有一条窄隆起线斜穿(图 26,r)每只后足的基节(在 *G. stercorarius* 中,有 84 条肋状突起),由一个腹节特别突出的部分向它刮拨。近亲的镰刀形角金龟沿着其鞘翅边缘的接合缝有一条非常窄而细的音锉,靠近基部的外缘还有另一片短音锉;但据勒孔特说①,有些其他金龟子的音锉则位于腹部的背面。犀金龟的音锉位于前臀板;据这同一位昆虫学家说,有些其他犀金龟类的音锉则位于鞘翅的底面。最后,韦斯特林说,褐绢金龟的音锉位于前胸腹,而刮则位于后胸腹板,这样,发音部分所在的位置是躯体的下表面,而不是像长角甲虫那样在上表面。

我们由此看到鞘翅类不同科的摩擦发音器官位置的多样性实是惊人,但在其构造上却没有多大差别。在同一科中,有些物种具有这等器官,而另外一些物种就没有。这种差异是可以理解的,我们如果设想各种甲虫躯体的任何坚硬而粗糙的部分原先偶然相触,互相摩擦而发出模糊或嘶嘶的声音;而且由于这样发出的声音有点用处,那么其躯体的粗糙表面就会逐渐发展成为正规的摩擦

① 我感谢伊利诺斯州的沃尔什先生,蒙他赠我拉康德的《昆虫学导论》,101、143 页的摘要。

发音器官。现在有些甲虫当行动时，不管有意或无意地还会发出一种模糊的声音，然而它们并没有任何适于这种用途的特殊器官。华莱士先生告诉我说，长臂金龟（一种鳃角组甲虫，其雄虫的前肢奇长）“在移动时靠腹部伸缩发出一种低沉的嘶嘶声；如果把它捉住，它就会用后腿同鞘翅边缘互相摩擦而发出一种刺耳的声音。”这种嘶嘶声显然是由于一个窄音锉沿着每张鞘翅边缘的接合缝擦过而发出的；我用它的腿节的粗糙表面同其对应的鞘翅凸凹不平的边缘互相摩擦，同样也能发出那种刺耳的声响；然而我无法在这里找出任何特殊的音锉，这种昆虫如此之大，我很不可能把这种音锉忽略掉的。在考察了高脊步甲并读过韦斯特林关于这种甲虫的著述后，我感到尽管它有发音能力，但是否有任何真正的音锉，似乎很有疑问。

根据直翅目和同翅亚目来类推，我曾预期在鞘翅目昆虫中会发现不同性别有不同的摩擦发音器官；但详细检查过若干物种的兰多伊斯并没见到过这种差异；韦斯特林和克罗契先生制作了许多标本送给我，他们也没有见过这种差异。由于这类器官的巨大变异性，即便有任何差异，如果是轻微的话，也是难于被察觉的。例如我检查的第一对埋葬虫和 Pelobius，其雄虫的音锉要比雌虫的大得多；但后来检查的标本就不这样了。有三只粪金龟雄虫的音锉在我看来要比三只雌虫的音锉更厚，色更暗，也更隆起，因此，为了弄清楚不同性别的摩擦发音能力是否不同，我儿子 F. 达尔文搜集了 57 只活标本，用同样方法拿着，按照它们叫声的大小分成两堆。然后他检查了所有这些标本，发现这两堆雄虫和雌虫的比例很接近。史密斯先生保存了许多 *Monoynchus pseudacori*（像虫科）的活标本，他认为其雌雄二者都会摩擦发音，而且其发音显然相同。

尽管如此，在某些少数鞘翅目昆虫中，摩擦发音能力肯定还是一种性征。克罗契先生发现 *Heliopathes*（拟步甲科）的两个物种只有雄虫有摩擦发音器。我检查了驼背拟步行虫的五只雄虫，在最末

腹节背面全有一个相当发达的音锉，其一部分分而为二；而在同样数目的雌虫中，甚至连一个音锉的痕迹也没有，最末这个腹节的膜是透明的，而且比雄虫的这种膜薄得多。另一种拟步甲的雄者有一个同样的音锉，只是其一部分并不分而为二，而雌者则完全缺少这种器官；此外雄虫在鞘翅尖端的边缘上，在鞘翅接合缝的每一边，有三四条短的纵向隆起线，其上横着极细的肋状突起，这等隆起线同腹部的音锉平行也相似；这等隆起线究竟是作为独立的音锉用还是作为腹部音锉的一个刮具，还无法断定：雌虫一点也没有后述这种构造的痕迹。

还有，在犀金龟属的三个物种中，我们看到一个近似的例子。钩角犀金龟和与尖鼻犀金甲雌虫的前臀板音锉上的肋状突起在连续性和清晰性上均不及雄虫；但主要的差异还在于这个体节的全部上表面，当把它放在适当光线中时，即可见到它上面覆盖着毛，而雄虫并没有这种毛，或仅以非常微细的绒毛为其象征。应该注意，在所有鞘翅目昆虫中，音锉的有效部分都是无毛的。塞内加尔犀金龟雌雄之间的差异更加显著，当把这个特殊腹节弄干净作为透明物体观察时，就可以最清楚地看到这种差异。雌虫的这整个表面覆盖着分散的带刺小脊突；而雄虫的这些脊突在向腹端延伸的过程中逐渐汇合，变得愈益规则，愈益没有毛刺；因而这个腹节的四分之三被极细的平行肋状突起所覆盖，这是雌虫根本没有的。然而当把一个软化了的标本的腹部前后推动时，独角仙属所有这三个物种的雌虫都会发出一种轻微的嘎嘎声或唧唧声。

在拟步行虫属和独角仙属的场合中，雄虫的摩擦发音乃是为了召唤或刺激雌虫，几乎是无可疑问的了；但对多数甲虫来说，摩擦发出的叫声显然是用于雌雄的相互召唤。甲虫类在各种情绪下的摩擦发音，也同鸟类一样，除向配偶鸣唱外，还为了许多目的来使用它们的叫声。巨大的巨颚甲虫当愤怒和挑战时就要摩擦发出鸣叫，许多物种如果被捉住因而无法逃脱时，由于绝望或恐惧也会

发出鸣叫；沃拉斯顿和克罗契二位先生在加那利群岛用敲打空心树干的方法可以引起仙人掌象甲属的甲虫摩擦发出鸣叫，因而探知它们的所在。最后，属金龟甲雄虫摩擦发出鸣叫以鼓励雌虫工作，当把雌虫移走后①，也因悲痛而摩擦发出鸣叫。有些博物学家相信甲虫发出这种叫声是为了把它们的敌害吓走；但我不能想像一只四足兽或鸟既然能吞食一只大甲虫，怎么会被这么轻微的一种声音所吓倒。摩擦发音是用于性的召唤，这个信念得到了下述事实的支持，即方格纹窃蠹以嘀嗒声互相呼应而闻名，而且据我亲自的观察，它们也向一种人为的轻拍声呼应。道布尔戴先生也告诉过我，他不时见到一只雌虫发出嘀嗒声②，过一两小时后发现她同一只雄虫在交配，还有一次被几只雄虫包围起来了。最后，许多种类的雌雄甲虫起初很可能是靠它们躯体上邻接的坚硬部分彼此摩擦而发出轻微的声音来相互寻找；当那些声音最响亮的雄虫或雌虫最能成功地寻得配偶时，它们躯体不同部位上的皱纹通过性选择就会逐渐发展成为真正的摩擦发音器官。

---

① 布律勒里，默里的《旅行记》（第1卷1868年，135页）曾加引用。

② 据道布尔戴先生说，"昆虫所发出的声音是靠着用后腿尽可能地把自己抬高，然后用胸部向坐在其下的东西连续五六次急速拍打"。关于这问题的参考资料，参阅兰多依斯的文章，见《动物科学杂志》，第17卷，131页。奥利维尔（Olivier）说（柯尔比和斯彭斯在其《昆虫学导论》，第2卷，395页，曾加引用。）*Pimelia striata* 的雌虫用其腹部向任何坚硬的东西拍打都可发出相当高的声音，于是雄虫"按照这种召唤，很快前来伴随着她，然后交配了。"

第十一章

昆虫类的第二性征(续)
——鳞翅目(蝶类和蛾类)

蝴蝶的求偶——斗争——嘀嗒响声——雌雄共有的颜色,——雄虫的颜色更鲜艳——实例——非由于生活条件的直接作用——保护色——蛾类的颜色——美的夸耀——鳞翅目的知觉能力——变异性——雄虫和雌虫颜色差异的原因——拟态,雌蝴蝶比雄蝴蝶的颜色更鲜艳——幼虫的鲜明颜色——关于昆虫第二性征的提要和总结——鸟类同昆虫的比较。

在这个大"目"中,使我们最感兴趣的是,同一物种雌雄二者在颜色上的差异以及同一属不同物种之间在颜色上的差异。本章的绝大部分都要用来讨论这个问题;但在这之前我要先对其他一两个问题略作陈述。常常可以见到若干雄虫群集在同一只雌虫周围,向她求爱。它们的求偶看来是一件延续很久的事,因为我屡屡注视一只或一只以上的雄虫环绕一只雌虫旋转,直到我看得累了的时候还没有结果。巴特勒先生也告诉我说;他曾几次注视过一只雄虫花了整整一刻钟的时间去向一只雌虫求爱;但后者顽固地予以拒绝,最后停息在地面上并合拢双翅,以逃避其求爱。

蝴蝶虽是脆弱的动物,却都好斗,有一只被捉住的"雄紫蛱

蝶"[①]就是因为同另一只雄蝶冲突而把两片翅尖搞裂了。科林伍德先生提到婆罗洲蝴蝶经常发生斗争时说道，"它们以最大速度互相围着旋转，似乎激起了极大愤怒而凶猛异常。"

有一种蝶发出的一种声音就像齿轮在弹簧轮档下通过时的响声一样，在几码外都能听到：我只是在里约热内卢见到两只这种蝶在一条不规则的路线上互相追逐时才注意到这种声音的，因此这种声音可能是雌雄在求偶时发出的[②]。

某些蛾类也发音；龟蛾的雄蛾就是一例。布坎南·怀特[③]先生有两次听到山毛榉青实蛾的雄蛾发出一种急促的刺耳声音，他相信，就像蝉属的发音那样，这声音是由具有肌肉的一片弹性膜产生的。他还引用了盖内的说法，即，毛蛾显然是靠"位于胸部的两只鼓状大囊"之助，发出一种钟表那样的嘀嗒声；而这类器官"在雄蛾身上远比在雌蛾身上发达得多。"因此，鳞翅目的发音器官同性机能似乎有某种关系。我所指的不是鬼脸天蛾发出的那种人所周知的声音，因为在这种蛾刚从茧羽化不久就可听到这种声音。

霍尔一向观察到天蛾有两个物种散发出麝香气味，这是雄蛾所特有的[④]；在较高等的动物纲中，我们将会碰到只有雄者才散发香气的许多事例。

许多蝶类和某些蛾类都极其美丽，无论何人，必加赞赏；或可这样提问：它们的颜色及其变化多端的式样是怎样形成的？是由于这些昆虫所暴露于其中的物理条件直接作用的结果吗？同时并不

---

① 紫蛱蝶（*Apatura iris*），见《昆虫学家周刊》，1859年，139页。关于婆罗洲蝶类，见科林伍德的《一个博物学家的漫谈》，1868年，183页。

② 参阅我的《研究日志》，1845年33页。道布尔戴先生已发觉（见《昆虫学会会报》，1845年3月3日，123页）在前翅基部有一特别的膜质囊，大概同发音有关。关于龟蛾，见《动物学纪录》，1869年，401页。关于布坎南·怀特先生的观察材料，见《苏格兰博物学家》，1872年7月，214页。

③ 参阅《苏格兰博物学家》，1872年7月，213页。

④ 参阅《动物学纪录》，1869年，347页。

因此取得任何利益吗?还是由于作为一种保护手段,或者为了某种未知的目的,或者为了某一性别可以吸引另一性别,世世代代的变异被积累起来并由它们所决定的吗?再者,某些物种雌雄二者的颜色差异很大,而同一属其他物种雌雄二者的颜色却彼此相像,其意义是什么呢?在试图回答这些问题之前,一定要先举出大量的事实来。

关于我们美丽的英国蝴蝶,像红纹蝶、孔雀蛱蝶、画美人蛱蝶以及其他许多蝴蝶,其雌雄二者都是彼此相像的。热带产的艳丽的纯蛱蝶科和斑蝶科的大多数也是如此。但某些其他热带类群以及我们英国的某些蝴蝶,像闪紫蝶、橙色翅尖蝶等(紫蛱蝶和黄襟粉蝶),其雌雄二者在颜色上的差异有大有小。有些热带物种的颜色之壮丽实非语言所可形容。甚至在同一个属中,我们也常常会发现有的物种雌雄之间表现的差异非常之大,而另外的物种雌雄之间又彼此密切近似。下述大多数事实均蒙贝茨先生见告,并审阅过这里的全部讨论,在南美的 Epicalia 属中,他告诉我说,他知道有 12 个物种的雌雄二者常常出没于同一处所(蝶类并非永远如此),所以它们不会受到不同外界条件的影响[①]。这 12 个物种中有 9 个,其雄蝶乃所有蝴蝶中最鲜艳者,它们同颜色比较平淡的雌蝶有如此巨大差异,以致后者先前曾被放入不同的属中。这 9 个物种的雌蝶在其一般色彩上都彼此相似;而且同世界各地所发现的若干亲缘关系密切近似属的物种的雌雄双方都相类似。因此我们可以推论这 9 个物种,大概还有该属的所有别的物种都是起源于一个颜色几乎相同的类型。第 10 个物种的雌蝶仍保持相同的一般色彩,但雄蝶与之相似,因此它的颜色远不及前面 9 个物种绚丽,而且差别悬殊。第 11 和第 12 个物种的雌蝶的颜色几乎与雄蝶一样华丽,只稍差一点。因此,后面这两个物种的雄蝶的鲜明色彩似乎已传给

---

① 再参阅贝茨先生的论文,见《费城昆虫学会会报》,1865 年,206 页。

了雌蝶；而第 10 个物种的雄蝶则保持或复现了雌蝶的以及该属原始类型的平淡颜色。这三个例子的雌雄二者尽管表现的方式相反，却很相似。在亲缘关系相近的 *Eubagis* 属中，某些物种雌雄二者的颜色都是平淡的；而大多数物种的雄蝶都装饰着多种多样美丽的金属色泽，同雌蝶差异很大。这整个属的雌蝶都保持着同样的一般色彩，因此它们互相之间的类似要大于它们和同种雄蝶之间的类似。

在凤蝶属中，安尼阿斯蝶类群的所有物种均以它们显明和差别悬殊的色彩而著称，它们也证明了雌雄二者之间在差异量上常见级进倾向。在少数物种中，例如斑点凤蝶，雌雄二者彼此相似；在另外一些物种中，雄蝶的色彩或比雌蝶鲜明，或比雌蝶华丽得多。同英国画美人蝶有亲缘关系的胥蝶属提供了一个几乎同样的情况，因为尽管该属大多数物种的雌雄二者都缺少华丽色彩而且彼此相像，但有些物种如青铜色六月蝶的雄者颜色则比雌者鲜明些，还有胥蝶的少数物种的雄者同雌者如此不同，以致可能把雄者误认为是一个完全不同的物种。

A. 巴特勒先生在大不列颠博物馆向我指出过另一个显著事例，即褐灰蝶的一个物种，其雌雄二者几乎一样，极其美丽；另一个物种的雄者具有同样华丽的颜色，但雌者整个上表面则都是一致的暗褐色。我们在英国常见的灰蝶表明其雌雄二者之间在色彩上有种种差异，几乎同上述外来的属一样，虽然不如后者那样显著。小丘灰蝶雌雄二者的翅都是褐色的，边上镶有像瞳眼的橙色小点，彼此都如此相似。雄爱琴岛灰蝶的翅是鲜蓝色的，镶着黑边，而雌蝶的翅都是褐色的，其镶边同小丘灰蝶的翅很近似。最近，竖琴灰蝶雌雄二者的翅都是蓝色而且很相像，但雌蝶翅缘稍黑，上面的黑点稍淡；有一个鲜蓝色的印度物种雌雄二者彼此还更相像。

我列举上面这些细节是为了阐明，第一，当蝴蝶的雌雄二者出现差异时，按照一般规律总是雄蝶较为美丽，而且同该种所隶属的

那一类群的普通色彩距离较远。因此，在多数类群中若干物种的雌蝶之间的相似远比雄蝶之间的相似更为密切。然而在某些场合中，雌蝶的颜色却比雄蝶更为艳丽，以后我还要谈到这一点。第二，上述这些细节清楚地使我们认识到同一属的雄蝶和雌蝶从其颜色毫无差异开始，经常出现各种级进，直至彼此的颜色如此不同，以致在昆虫学家们把它们归入同一属之前，长期以来一直把它们看作是两个属。第三，我们看到，当雄蝶和雌蝶彼此近似时，这似乎是由于雄蝶将其色彩传给了雌蝶，要不就是由于雄蝶保持或恢复了这一类群的原始色彩。还应注意的是，在雌雄二者有所差异的那些类群中，通常是雌蝶多少类似雄蝶，所以当雄蝶美丽到异常程度时，雌蝶也几乎总要呈现某种程度的美丽。根据雌雄二者在差异量上的许多级进事例，根据同一类群普遍具有的一般色彩，我们可以断定导致某些物种只有雄蝶才有鲜艳色彩以及另外一些物种雌雄二者都具有鲜艳色彩的原因一般是相同的。

由于这么多华丽的蝴蝶都产于热带，因此人们往往假定它们的颜色乃是由于该地区的巨大热量和湿度所致；但是，贝茨先生①在比较了许多产于温带和热带亲缘相近的昆虫类群之后，证明这个观点不能成立；当同一物种的色彩鲜艳的雄蝶和色彩平淡的雌蝶栖息在同样的地方，吃同样的食物并遵循着完全同样的生活习性时，这个证明就成为无可争辩的了。即使雌雄二者彼此相像，我们也几乎不能相信它们鲜艳的色彩乃是它们组织性质和周围环境条件的结果。

所有种类的动物，一旦为了某种特殊目的而发生了颜色变异，根据我们所能判断的来说，这如果不是为了直接或间接的保护，就是为了性别之间的一种吸引。有许多蝴蝶的种，其翅的上表面都是颜色暗淡的，这多半可以使它们得以避免被发现和逃避危险。但

① 参阅《亚马孙河流域的博物学家》，第1卷，1863年，19页。

是，蝴蝶在停息时特别容易受到其敌害的攻击；而且大多数种类在停息时都把翅垂直地竖立于背上，于是只有翅的下表面暴露于外界的视线之中。因此，正是这一面的颜色往往模拟它们通常停息于其上的物体色彩。我相信是若斯勒尔博士首先注意到某些画美人蝶以及其他蝴蝶合拢的双翅同树皮的颜色相似。还可以举出许多类似的显著事实。最有趣的一个例子是华莱士先生① 记载的一种印度和苏门答腊的枯叶蛱蝶，当它停息在矮树丛上就像魔术一样地消失了；因为它把头和触角都藏在合拢的双翅中间，这样从形状、颜色和翅脉来看就和一片带叶柄的枯叶无异。另外还有些例子，翅的下表面具有灿烂的颜色，仍然是作为保护之用；例如红纹褐灰蝶的双翅合拢时其颜色是翡翠绿，同黑莓树的嫩叶相类似，这种蝴蝶在春天常常停息于其上。还应注意的是，有许多物种的雌雄二者上表面的颜色差异很大，而下表面的色彩却非常近似或完全一样，这也是作为保护之用的②。

虽然许多蝶类上下两面的暗淡色彩无疑是便于隐蔽，可是我们不能把这一观点引伸到上表面具有鲜艳夺目色彩的那样一些物种，如英国的红纹蝶、孔雀蓝蝶、画美人蝶、粉蝶，或是常出没于开阔沼地的大燕尾凤蝶——因为这些蝴蝶的颜色使它们可以被每个活的动物都能看到。这些物种的雌雄二者都彼此相似；但鼠李粉蝶的雄蝶是深黄色的，而雌蝶的颜色要淡得多；而黄襟粉蝶只有雄蝶的翅尖具有鲜明的桔黄色。在这些例子中，无论雄蝶与雌蝶都会惹起注目的，因而认为它们的颜色差异同正常的保护有任何关系的

① 参阅《韦斯敏斯特评论》1867 年，7 月，第 10 页上的一篇有趣文章。华莱士先生在《哈德威克的科学随笔》(Hardwick's Science Gossip)一书上提供了一幅枯叶蛱蝶的木刻图，1867 年，9 月，196 页。

② 弗雷泽先生，《自然界》，1871 年，4 月，489 页。

说法都是不可信的。魏斯曼教授说①,有一种灰蝶的雌者当停息在地上时就把她褐色的翅展开,从而几乎无法把它识别出来;另一方面,其雄者好像明知其翅膀上表面的鲜蓝色会招来危险,当停息时就把它们合闭在一起;这说明蓝色决不能用于保护。尽管如此,惹起注目的色彩作为表示它们是不好吃的一个警号,对许多物种可能还是间接有利的。因为某些其他例子表明美丽色彩是通过模拟其他美丽物种而获得的,后者也居于同一地方并由于它们对其敌害有某种防卫作用而得以避免受到攻击;但另一方面我们还必须对模拟的物种之美丽色彩进行解释。

正如沃尔什先生向我说过的,上述黄襟粉蝶的和一个美国襟粉蝶的雌蝶大概向我们表明了该属亲种的原始色彩;因为该属有四五个散布很广的物种,其雌雄二者的色彩几乎一样。正如上述的几个例子,我们可在这里推断黄襟粉蝶和美国襟粉蝶的雄蝶离开了该属的通常型式。产于加利福尼亚州的蛛襟粉蝶,桔色翅尖的性状在雌蝶方面也得到了局部发育;但颜色比雄蝶要淡些,在其他一些方面也稍有差异。有一个亲缘相近的印度蝴蝶,其桔色翅尖的性状在雌雄双方都得到了充分发育。正如巴特勒先生向我指出的,该蝶双翅的下表面同一片淡色的叶子奇异地相似;而我们英国的黄襟粉蝶的下表面则同野生欧芹的头状花相似,它们常在晚间停息于其上②。迫使我们相信下表面的色彩乃是为了保护的同样理由,又使我们不得不否认翅尖具有鲜明的黄色是为了同样的目的,特别是当这个性状只限于雄蝶时,尤其如此。

大多数蛾类在整个或大部分白天都不活动,而且其翅垂放;为了逃避外界的发现,它们整个上表面的颜色浓淡和着色方式,正如

① 《隔离对种类形成的影响》(Einfluss der Isolirung auf die Artbildung),1872年,58页。

② 参阅伍德先生写的有趣的观察报告,见《学生》(*The Student*)1868年9月,第81页。

华莱士先生所说的，常常令人赞叹不已。蚕蛾科和夜蛾科[①]当停息时，其前翅一般重叠而把后翅掩盖起来；因此后翅大概具有灿烂的色彩而不致遭到大的危险；它们的后翅事实上往往都是这样着色的。蛾类在飞翔时常常能够逃避其敌害；尽管如此，由于其后翅这时完全暴露于外界的视线之中，一般说来其灿烂色彩的获得一定还要冒一点危险。但下述事实阐明，我们要对这个问题作出结论应该如何地谨慎。具黄色后翅的黄彩夜蛾往往在白天或傍晚飞来飞去，由于它们后翅的颜色，那时是易于被察见的。人们自然要认为这可能是危险的一个根源；但詹纳·韦尔先生相信这实际上是逃避危险的一种手段，因为鸟类所注意到的是这等色彩灿烂而易碎的表面，并非它们的躯体。例如，韦尔先生把一只健壮的一种黄彩夜蛾标本放进他的鸟舍里，马上就受到一只驹鸟的追逐；但是，把这只鸟的注意力吸引住的是标本的彩色翅膀，经过 50 次左右的尝试，而且蛾翅反覆被撕裂成碎片后，才把它捉住。他用一只燕子和缘饰彩夜蛾在露天作过相同的实验；但这种蛾子的巨大体型妨碍了燕子把它捉获[②]。由此我们想起了华莱士先生的一段叙述[③]，他说在巴西森林和马来群岛有许多非常漂亮的普通蝴蝶，它们虽有宽阔的翅膀，但都不善于飞翔；它们“被捉获时，其翅往往被刺穿而破裂，好像它们曾被鸟类捉住后又逃脱了；倘若翅膀同虫体的比例小得多，那么这种昆虫的致命部位看来就可能更加频繁地受到打击和刺穿，因此翅膀的增大可能有间接的利益。”

夸耀

许多蝶类和有些蛾类的灿烂色彩都是为了夸耀而特别安排

① 华莱士先生，《哈德威克的科学随笔》，1867 年 9 月，193 页。
② 关于这个问题再参阅韦尔先生的论文，见《昆虫学会会报》，1869 年，23 页。
③ 《西敏斯特评论》，1867 年，7 月，16 页。

的，所以它们容易被看见。在夜间，颜色是不会被看见的，毫无疑问，夜蛾作为一个整体来说，其装饰远远不及有昼出习性的蝶类华丽。但某些科的蛾类，如斑蛾科、若干天蛾科、燕蛾科、某些灯蛾科和天蚕蛾科，在白天或傍晚四处飞翔，它们之中有许多都是很美的，同严格夜出的类型相比，其颜色要灿烂得多①。

关于夸耀，还有另一类证据。如上所述，蝶类当停息时便竖起它们的翅，但在晒太阳的时候，往往把双翅交替地竖起或垂放，这样，翅的两面就充分可见；虽然下表面的色彩往往暗淡，以为保护，但有许多物种，其翅的下表面同上表面装饰得一样，非常华丽，而且其式样有时迥然不同。有些热带物种，其翅的下表面色彩甚至比上表面还要鲜艳②。英国的豹蛱蝶只有下表面才装饰着闪闪的银光。尽管如此，作为一般规律，上表面大概暴露的更加充分，其颜色要比下表面更灿烂、更多样化。因此，在鉴定不同物种之间的亲缘关系时，下表面对昆虫学家们一般可以提供更为有用处的性状。弗里茨·米勒告诉我说，在巴西南部他的住宅附近发现了蝶蛾属的三个物种：其中两个的后翅颜色都是暗淡的，停息时，后翅总是被前翅所掩盖；但另一种的后翅是黑色的，其上有美丽的红色和白色斑点，这种蝴蝶不论在什么时候停息，它们的后翅都充分展开以显示其色彩。尚有其他这等事例可以举出。

现在我们转来谈谈蛾类这庞大的类群，我听斯坦登先生说，它们习惯上不把翅的下表面暴露得很清楚，我们很少发现过这一面的色彩比上表面更灿烂或与之相等。关于这一规律的某些例外，不

① 关于昼出和夜出的鳞翅目昆虫的相对色彩，见《昆虫的现代分类》，第2卷，333和392页；再参阅哈里斯著作《关于新英格兰昆虫类的论文》(Treatise on the Insects of New England)1842年，315页。

② 关于几个凤蝶种的翅膀上下表面的这等差别，见华莱士先生的《关于马来亚地区凤蝶科的研究报告》(Memoir on the Papilionidae of the Malayan Region)一文中的图版，载于《林纳学会会报》，第25卷，第1部分，1865年。

论是真实的还是表面的，如旋目夜蛾的例子[1]，都必须加以注意。特里门先生告诉我说，在盖内的伟大著作中有三只蛾的绘图，它们的下表面要鲜艳得多。例如，澳洲的细长尺蛾的前翅上表面是淡灰赭石色的，而下表面则饰以华丽的钴蓝色眼点，位于一块黑斑的中央，黑斑之外围绕着一层橙黄色，再外一层是浅蓝白色。但关于这三种蛾子的习性还不清楚；因而对它们色彩的不寻常式样无法加以说明。垂门先生还告诉我说，某些别的尺蛾类[2] 和四裂的夜蛾类，其翅膀的下表面或比上表面更鲜艳灿烂；但其中一些物种具有这样的习性："它们的翅完全竖立于背上，并在相当长的时间内保持着这种姿势，"这样就把下表面暴露于外界的视线之中。另外有些物种，在停息于地上或草本植物上时，不时突然而轻微地抬起它们的翅。因此，某些蛾类翅的下表面比上表面的颜色鲜明就不会令人感到异常了。天蚕蛾科中有些蛾是所有蛾类中最美丽的，它们的翅像英国的天蚕蛾那样，饰有漂亮的眼点；伍德先生[3] 观察到它们的一些活动同蝶类相似；"例如，它们的翅好像为了夸耀其美而轻轻起伏，昼出的鳞翅目昆虫比夜出的更具有这种夸耀的特性。"

虽然许多颜色灿烂的蝶类的雌雄二者差异颇大，但根据我所能发现的，没有一种颜色灿烂的英国蛾类，其雌雄二者在颜色上有很大差异，几乎任何外国物种也是如此。然而，有一种美国蛾，叫作河神天蚕蛾的，有人描述其雄者具有深黄色的前翅，其上奇妙地点缀着紫红色斑点；而雌蛾的双翅却是紫褐色的，点缀着灰色的线条[4]。雌雄颜色不同的英国蛾为全褐色，或为各式各样的暗黄色，

---

① 参阅沃莫尔德（Wormald）先生讨论这种蛾的文章，见《昆虫学会会报》，1868年，3月2日。

② 再参阅有关南美洲的尺蛾类一个属 *Erateina* 的记载，见《昆虫学会会报》，新辑，第5卷，15和16页。

③ 参阅《伦敦昆虫学会会报》1868年，7月6日，27页。

④ 哈里斯，《关于新英格兰昆虫类的论文》，弗林特校，1862年，第395页。

或接近白色。有几个物种，其雄蛾的颜色比雌蛾暗得多①，这些物种都属于一般在下午四处飞翔的类群。另一方面，正如斯坦登先生告诉我的，在许多属中，雄蛾的后翅要比雌蛾的白些——关于这个事实，警纹鸣夜蛾提供了一个生动的实例。忽布蝙蛾的这种差异更为显著；其雄蛾是白色的，雌蛾呈黄色并带有较暗的斑纹②。这些事例或可说明雄蛾像这样表现得较为显眼，大概是为了在黄昏四处飞翔时比较容易被雌蛾看到。

根据上述若干事实来看，不能认为蝶类和某些少数蛾类通常是为了保护自己而获得其灿烂色彩。我们已经看到，它们所安排和展示的色彩和优雅样式好像都是为了夸耀其美。因此，我被引导着去相信，雌者爱好颜色比较灿烂的雄者，要不后者最能使雌者激动；因为，根据我们所能知道的来说，若依其他设想，都无法说明雄者装饰的目的何在。我们知道，蚁类和某些鳃角类甲虫都能感到彼此依恋之情，而且蚁类在间隔数月之后还能认出它们的伙伴。因此，在系统上同这等昆虫大概居于差不多相等或完全相等位置上的鳞翅目，具有充分的精神能力来赞赏灿烂的颜色，在理论上并非是不可能的。鳞翅类肯定是凭借颜色来发现花的。常常可以见到

① 例如，我在我儿子的标本箱内见到栎枯叶蛾（*Lasiocampa quercus*）、吸饮枯叶蛾（*Odonestis potatoria*）、*Hypogymna dispar*、茸毒蛾（*Dasychira pud ibunda*）以及平纹细蛾（*Cycnia mendica*）的雄蛾都比雌蛾的颜色更暗淡。后一物种雌雄之间在颜色上差异显著；华莱士先生告诉我说，他相信我们在这里见到一个事例表明保护性的模拟只限于一种性别，这在后面还要更充分地加以说明。平纹细蛾的白色雌蛾同很普通的星白灯蛾（*Spilosoma menthrasti*）相似，而后者雌雄都呈白色；斯坦登先生观察到后面这种蛾子为整窝小火鸡极端厌恶地拒食，而它们却爱吃其他蛾类；因此若英国鸟类普通把平纹细蛾误认作樱蛾，它们就可避免被吃掉，这样，其伪装的白色就是高度有利的。

② 值得注意的是，在设得兰群岛这种蛾的雄者不但同雌者没有很大差别，反而在色彩上同雌者密切相似（参阅麦克拉克伦先生的文章，《昆虫学会会报》，第2卷，1866年，459页）。弗雷泽先生提出（《自然》，1871年，4月，489页）当蝙蝠蛾出现在这北方群岛的季节，月色微明，为了使雌蛾易于见到，雄蛾的白色就不是必要的了。

蜂鸟天蛾在若干距离以外向绿叶丛中一束花猛扑过去；有两位海外人士向我保证说，这等蛾曾反覆光临一间屋子墙上画的花，而且徒劳地试图把它们的喙插进去。弗里茨·米勒告诉我说，巴西南部有几种蝴蝶准确无误地爱好某些颜色胜于爱好其他颜色：他观察到它们时常光临五六个植物属的灿烂红花，但从不光临同一花园里的同一属或其他属植物开白花或黄花的物种；我也收到过同样意义的其他报道。多勃尔德伊先生告诉我说，普通白蝶常飞向地面上的一块小片纸，无疑是把它错误地当作自己的同种。科林伍德先生[①]当谈到在马来群岛收集某些蝶类的困难时说道，"把一只死标本钉在一条易见的小树枝上，往往会把一只正在匆忙飞翔中的同种昆虫引到捕虫网容易达到的范围之内，如果它同死标本的性别不同，就尤其容易用此法捕获。"

如上所述，蝶类的求偶是一个冗长的过程。有时雄蝶因竞争而互斗；也可看到有许多雄蝶在追逐同一只雌蝶或聚在其周围。那么，除非雌蛾喜爱某只雄蛾胜过其他雄蛾，否则雌雄配合必定完全委于机会，看来这似乎是不可能的。另一方面，如果雌蛾时常或者甚至偶尔选择更美丽的雄蛾，则后者的颜色将逐渐日益增其鲜明，按照普遍的遗传规律，这种颜色将传递给雌雄双方或只传给一方。如果在第九章附录中根据种种证据所作出的结论是可信的话，即许多鳞翅目的雄虫数量至少在成虫状态时远远超过雌虫，则性选择的过程将会大大被推进。

然而有些事实同雌蝶喜爱比较美丽雄蝶的信念不相符合；例如，有几位昆虫采集者向我保证说，常常可以看到生气勃勃的雌蝶同伤损的、憔悴的或光彩暗淡的雄蝶交配；但这几乎总是由于雄虫早于雌虫出茧羽化的一种情况。关于蚕蛾科的蛾，其雄蛾和雌蛾一

---

① 《一个博物学家在中国诸海漫笔》(Rambles of a Naturalist in the Chinese Seas)，1868年，第182页。

羽化即行交配;因为它们的口器处于线迹状态而无法取食。正如几位昆虫学家向我说的,雌蛾几乎处于麻木状态,对其配偶似乎毫不选择。欧洲大陆和英国的一些饲养家告诉我说,普通家蚕蛾就是这样情况。华莱士博士对饲养臭椿蚕有丰富的经验,他相信这种雌蛾毫无选择或偏爱的表示。他曾把300只以上的这种蛾子饲养在一起,并且经常发现最强壮的雌蛾同发育不全的雄蛾相配。雄蛾对雌蛾好像并不如此;因为,正如他所信的,较强壮的雄蛾置衰弱的雌蛾而不顾,却被最富生命力的那些雌蛾所吸引。

迄今为止,我所谈到的只是雄虫颜色比雌虫更为鲜明的那些物种,并且我把雄虫的美丽归因于雌虫许多世代以来总是选择更有吸引力的雄虫,并与之交配。相反的事例虽然很少,也是有的,即雌虫的颜色比雄虫更为灿烂;在这种情况下,正如我相信的雄虫所选择的乃是比较美丽的雌虫,因而使雌虫慢慢地增添了她们的美丽。在各个不同的动物纲中都有少数物种的雄者选择比较美丽的雌者,而不是心甘情愿地接受任何雌者,这似乎是动物界的普遍规律,不过为什么如此,我们还弄不清楚。但是,如果同鳞翅目所发生的一般情况相反,雌者数量远比雄者多得多,则雄者大概就可能挑选更美丽的雌者。巴特勒先生让我看过大英博物馆入藏的几个*Callidryas*的物种,其雌虫之美有和雄虫相等者,另外还有大大超过雄虫者;因为只有雌虫的翅缘才满布着艳红色和橙色,并具有黑斑。这些物种的雄虫色彩比较平淡,彼此密切相似,这说明在这里发生变异的是雌虫;而在雄虫更富有装饰的那些事例中,发生变异的乃是雄虫,雌虫则保持密切相似。

在英国我们看到一些类似的情况,尽管不是那么显著。蚬蝶属的两个物种只有雌虫在其前翅上具有一种鲜紫色或橙色块斑。鳞眼蝶的雌雄颜色差别不大;但有一种复面鳞眼蝶,其雌虫在翅上有一种显著的鲜褐色块斑;另外有些物种的雌虫也比雄虫颜色更为鲜艳。还有,豆粉蝶与黄纹豆粉蝶的雌虫"在其黑色翅缘上有橙色

或黄色斑点，在雄虫方面只表现为细条纹"；在粉蝶属中，雌虫"在其前翅上装饰着黑色斑点，而这在雄虫的翅上只有部分表现。"那么，已知许多蝶类的雄者在其婚飞期间支撑雌者；但刚刚提到的那些物种却是雌者支撑雄者；因此雌雄双方所起的作用正好相反，这正如它们相对的美色也颠倒了一样。在整个动物界中，雄者在求偶过程中一般比较积极主动，由于雌者所接受的是吸引力较强的雄性个体，因而雄者的美似乎因此而增加了；但对蝶类来说，在最后的交尾仪式中乃是雌者居于比较积极主动的地位，所以我们可以设想它们在求偶过程中也起了同样的作用；在这样场合中，我们就能理解她们更加美丽的原因。上述系引自梅尔多拉先生的论述，他在总结时说道："虽然我不相信昆虫的颜色是由性选择的作用而产生的，但不能否认这些事实明确地证实了达尔文先生的观点。"①

由于性选择主要依靠变异性，因此必须对这个问题稍作补充，关于颜色的变异性，并没有什么困难问题，因为可以举出任何数目的鳞翅目昆虫都是高度易变的。举一个明显的例子就够了。贝茨先生给我看过两种凤蝶（*Papilio sesostris* 和 *P. childrence*）的一整套标本；后者的雄蝶在前翅的翡翠绿色美丽块斑的宽窄方面，在白斑的大小方面，以及后翅上艳红色的华丽条纹方面，都有很大变异；因此在最绚丽的雄蝶和最不绚丽的雄蝶之间形成了强烈对照。前一种凤蝶（*Papilio sesostris*）的雄者远不及后一种凤蝶（*P. childrence*）的雄者美丽；在其前翅上绿色斑块的大小以及后翅上偶尔出现的艳红色小条纹等方面也同样稍有变异，后一性状看来好像是来自本种的雌蝶；因为这个物种的雌蝶以及安尼阿斯蝶类群其他许多物种的雌蝶都具有这种艳红色条纹。因此，在 *P.*-

① 《自然》，1871 年 4 月 27 日，508 页。米尔多拉（Meldola）先生引用了唐塞尔（Donzel）关于蝴蝶交配飞行的资料，见《法国昆虫学会》，1837，第 77 页。再参阅弗雷泽先生关于若干英国蝴蝶的性别差异的文章，见《自然》1871 年 4 月 20 日，489 页。

sesostris 最鲜明的标本和 *P. childrence* 最暗淡的标本之间只有一小段间隔，显然仅就变异性来说，凭借选择作用不断地给任何一个物种增添其美丽，并非困难之事。这里的变异性差不多只限于雄蝶；但华莱士先生和贝茨先生都曾指出①，有些物种的雌蝶是极易变异的，而雄蝶则否。我在后面一章将会说明许多鳞翅目昆虫的翅上美丽眼斑是显著易变的。这里我愿补充说明这些眼斑给性选择学说提供了一难点；因为在我们看来这些眼斑虽然非常富有装饰性，但从来没有只见于一种性别而不见于另一性别的，而且两种性别的眼斑也从来没有很大差异②。对这个事实目前还无法解释；但如果以后能发现眼斑的形成是由于翅膀组织有某种改变，譬如说，这种变化发生于很早的发育时期，则根据我们所知道的遗传规律，我们就可期待这种性状将会传递给雌雄双方，尽管它只在一种性别发生并完成。

总之，虽有许多严重的反对主张，但大多数鳞翅目的色彩鲜艳物种的颜色大概是由于性选择的结果，当然在即将谈到的某些事例中，其鲜明色彩的获得乃是由于作为保护的拟态。在整个动物界中，雄者因其热情一般都乐于接受任何雌者；而雌者通常则要尽力选择雄者。因此，如果性选择曾对鳞翅目发生过有效作用，则在雌雄相异的场合中，雄者的色彩应是更灿烂的，而事实也正是如此。在雌雄双方都有着灿烂的色彩并彼此类似时，雄者所获得的这等性状大概传递给了雌雄双方。我们作出这个结论的根据是，即使在同一属中，雌雄二者之间在颜色上存在着从颜色差异非常之大到

---

① 见华莱士关于马来亚地区凤蝶科的著作，见《林奈学会会报》第25卷，1865年，8和36页。华莱士先生提出过一个稀有变种的显著事例，这个稀有变种严格介于其他两个特征显著的雌蝶变种之间。再参阅贝茨先生的文章，见《昆虫学会会报》，1866年11月19日，40页。

② 热心的贝茨先生曾在昆虫学会上提出这个问题，关于这种效果，我收到过几位昆虫学家的答覆。

完全一样的等级。

但或可提问，关于雌雄二者之间的颜色差异，除性选择外，难道不能用其他方法来解释吗？例如，在若干事例中，据知同种的雄蝶和雌蝶栖息于不同的场所①，前者一般曝于日光之下，后者则出没于幽暗的森林中。因此不同的生活条件可能会直接作用于雌雄二者；但这似乎是不可能的②，因为处于成虫状态的雄蝶和雌蝶只是在很短时期内暴露于不同的生活条件下，而它们在幼虫期生活条件是同样的。华莱士先生相信，性别之间的差异，其原因由于雄者的变异并非那样多，而在所有或几乎所有的场合中大都是由于雌者为了保护自己而获得了阴暗的色彩。在我看来，情况正好相反，远为可能的是，通过性选择主要发生变化的正是雄者。雌者的变化是比较小的。这样，我们就能理解亲缘关系密切的雌者之间的类似为什么一般甚于雄者之间的类似。于是这些雌者向我们大致显示了它们所隶属的这个类群的亲种的原始色彩。然而由于某些连续变异传递给了雌者，她们几乎总得要或多或少地发生改变，而雄者正是通过这些连续变异的积累而增添了美丽。但是，我无意否定在某些物种中仅是雌者为了保护自己而发生了特别变异。在大多数情况下，不同物种的雄者和雌者在其漫长的幼虫状态中将暴露于不同的生活条件下并因此受到不同的影响；然而雄者由此发生的任何细微的颜色变化一般都要被性选择所引起的灿烂色彩所掩盖。

如果雌雄二者同等遗传的方式更为普遍，在所有这样情况下，色彩鲜明的雄者的受到选择也倾向于引起雌者色彩变得鲜明；而色彩阴暗的雌者的受到选择也倾向于使雄者色彩变得阴暗。如果

① 贝茨，《亚马孙河流域的博物学家》，第 2 卷，1883 年，228 页。再参阅华莱士的文章，见《林奈学会会报》，第 25 卷，1865 年，10 页。

② 关于这整个问题，参阅《动物和植物在家养下的变异》，1868 年，第 2 卷，23 章。

这两个过程同时进行，它们则倾向于相互发生作用，其最终结果将决定于如下情况：究竟是雌者由于暗淡的色彩而得到保护并占有多数，以成功地留下了更多的后代，还是雄者由于色彩鲜明并因此觅得配偶而占有多数，以成功地留下了更多的后代。

为了说明性状常常只传递给一种性别的现象，华莱士先生表示相信雌雄二者比较普通的同等遗传方式可以通过自然选择转变为只向一种性别遗传的方式，但我还没有支持这种观点的任何证据。根据在家养状况下所发生的情况，我们知道新性状常会出现，它们一开始只传递给一种性别；经过对这等变异的选择，只使雄者具有鲜明的色彩，同时或者随后只使雌者具有暗淡的色彩，这并没有一点困难。按照这种方式，某些蝶类和蛾类的雌者可能是为了保护自己而变得颜色暗淡并与其同种的雄者大有差异。

然而，如果没有明显的证据，我无论如何也不愿承认在大量的物种中有两个复杂的选择过程在进行，它们各自要求把新性状只传递给一种性别，——即雄者靠着击败其竞争者而变得颜色更灿烂，而雌者由于逃避其敌害而变得颜色更暗淡。例如鼠李粉蝶的雄者，其黄色比雌者强烈得多，虽然其雌者的黄色也是同等显著的；其雄者获得鲜明色彩可能是作为一种性的吸引，但是要说雌者是为了保护自己而特别获得了暗淡的色彩似乎是不大可能的。黄襟粉蝶的雌者不像雄者那样具有美丽的橙色翅尖；结果它同我们花园中常见的粉蝶密切类似；但我们还无法证明这种类似对她是有益的。另一方面，由于她同居住在世界不同地方的该属若干其他物种的雌雄二者都相类似，因而她可能只是在很大程度上保持了其原始的色彩。

最后，正如我们所见到的，不同的考察都引出了下面的结论，即对大多数色彩灿烂的鳞翅目昆虫来说，主要通过性选择发生变异的乃是雄者，雌雄二者之间的差异量大都决定于起作用的遗传方式。遗传是受到如此众多未知的法则和条件所支配的，其作用方

式在我们看来是捉摸不定的[①]；因此，在某种程度上我们可以理解为什么近亲物种的雌雄颜色或是惊人地不同或是完全一样。由于变异过程的所有后续步骤都必须通过雌者来传递，因而这类步骤就容易在雌者方面多少发展起来；于是我们就可以理解，在所有亲缘相近的物种中，雌雄二者从极端不同到毫无差别之间常常会出现一系列的级进。可以补充说明的是，这等级进的例子是如此普遍，以致不能支持我们在下述设想，即我们在这里所见到的雌者实际上经历了转变的过程，并为了保护自己而失去其鲜明色彩。因为我们有各种理由可以断定随便在任何时候大多数物种都是处于稳定状态的。

拟　态

这一原理是由贝茨先生在一篇令人钦佩的论文中首次阐明的[②]，因而对许多暧昧不明的问题提供了大量解释。以前曾有人观察过属于十分不同科的某些南美洲蝶类同纯蛱蝶科在每一条纹和每一色调上如此密切类似，以致如果不是一位有经验的昆虫学家，就无法将它们区别开来。由于纯蛱蝶科所具者乃是本来的色彩，而别的蝶类则偏离了它们所属的类群的正常色彩，因此后者显然是模拟者。贝茨先生进一步观察到，模拟的物种较少，而被模拟的物种则很多，这两组昆虫混在一起生活。纯蛱蝶科为颜色鲜明而美丽的昆虫，但它们的种和个体数量非常之多，他根据这个事实断定它们必定靠某种分泌物或气味来保护自己免受敌者的攻击；这一结论现已得到广泛的证实[③]，尤其是得到了贝尔特先生的证实。因

① 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，12 章，17 页。
② 《林奈学会会报》，第 23 卷，1862 年，495 页。
③ 《昆虫学会会报》，1866 年 12 月 3 日，45 页。

此，贝茨先生推论模拟有所保护的物种的蝶类通过变异和自然选择而获得了它们目前那种不可思议的伪装，以图被误认识是那些有所保护的种类而逃避被吞食的危险。这里只想说明一下模拟的蝶类的鲜明色彩，而对被模拟的蝶类的鲜明色彩则不做任何解释。我们对后者的色彩必须按照本章以前讨论的诸例所用的同样方式进行说明。自从贝茨先生的论文发表之后，华莱士先生在马来亚地区，特里门先生在南非，并且赖利先生在美国都观察到了同等显著的相似事实①。

鉴于有些作者感到非常难于理解拟态过程的最初步骤如何能够通过自然选择而被完成，因此最好注意这一过程很久以前在颜色上并无显著差别的类型之间大概就开始了。在这种情况下，即使是一种轻微的变异大概也是有益的，如果这种变异能使其中一个物种更像另一个物种；以后被模拟的物种也许通过性选择或其他途径而被改变到极端的程度，如果这等变化是渐进的，则模拟者大概会容易地沿着同一轨道而随着变化，直至同它们原始状态的差别达到同等的极端程度；于是它们最终便获得了同它们所隶属的那个类群的其他成员完全不同的一种外貌或颜色。还应记住，鳞翅目的许多物种在颜色上都容易发生大量而突然的变异。本章已举出过少数例子；在贝茨先生和华莱士先生的论文中还可找到更多的例子。

有几个物种，其雄虫和雌虫是相似的，并且模拟另外一些物种的雌雄二者。但垂门先生在已经提到的那篇论文中举出三个例子，说明被模拟的类型的雌雄颜色彼此不同，而模拟的类型的雌雄颜

① 华莱士，《林奈学会会报》，第25卷，1865年，1页；以及《昆虫学会会报》，第4卷(第3辑)，1867年，301页。特里门，《林奈学会会报》，第26卷，1869年，497页。赖利，《关于密苏里州害虫类第三次年报》(Third Annual Report on the Noxious Insects of Missouri)，1871年，163—168页，后面这篇文章是有价值的，因赖利先生在这里讨论了所有反对贝茨先生理论的意见。

色也以同样的方式而有所不同。还记载过若干事实，说明只有雌者才模拟色彩鲜艳的有所保护的物种，而雄者则保持"其直系同性的正常外貌。"在这里使雌者发生改变的连续变异显然只传递给了雌者一方，然而，在这许多连续变异中有些传递给了雄者并发展起来是可能的，如果不是获得这类变异的雄者因此失去对雌者的吸引力而被淘汰了的话；所以只有从一开始就严格限于传递给雌者的那些变异才会保持下来。贝尔特先生在一项叙述中对这些意见曾作了部分证明①；他说有的 Leptalides②的雄者在模拟有所保护的物种时仍以隐蔽的方式保留了它们一些原始状态。例如，"雄虫的下翅上半部是纯白色，其余部分则布满了黑的、红的以及黄的条斑和点斑，同它们所模拟的物种相似。雌虫则无此白色斑纹，雄虫通常用上翅将下翅掩盖起来而使它得以隐蔽，因此当它们把它展示于雌虫之前因而满足了后者对 Leptalides 所隶属的那一'目'之正常颜色的根深蒂固的爱好时，我不能想像它有任何别的用处可以比得上作为求偶时的一种吸引。"

蠋的鲜明颜色

回顾许多蝶类的美丽，使我想起有些幼虫的颜色也是灿烂的；由于性选择在这里不可能起作用，因此，除非对其幼虫的鲜明色彩能以某种方式进行解释，否则把成年昆虫的美丽归因于性选择就未免轻率了。第一，可以看出蠋（幼虫）颜色同成年昆虫颜色并无任何密切的相关。第二，它们鲜明的颜色在任何正常意义上都不是作为保护之用的。贝茨先生向我说过这方面的一个例子：有一种天蛾幼虫生活于南美开阔的大草原上一株树的大绿叶子上，这是他看

① 见《博物学家在尼加拉瓜》(The Naturalist in Nicaragua)，1874 年，385 页。

② 疑为 Leptidea 异粉蝶属的误写。——译注

到过的颜色最鲜明的一种幼虫，长约4英寸，横向有黑和黄的带斑，头、足和尾均呈鲜红色。凡是路过的人，即使在许多码以外也会看到它。至于每只过路的鸟无疑也会看到它。

于是我请教了华莱士先生，他是解决难题的一个天才。他考虑了一下回答说："大多数幼虫都需要保护，这一点可从下述情况推论出来，即，有些种类的幼虫具有棘状突起或刺激性的毛，许多幼虫都是绿色的，同它们所取食的叶子颜色相似，或者同它们生活于其上的小树枝相似。"还有一个关于保护的事例，是曼塞尔·威勒先生提供给我的，即，有一种蛾的幼虫，生活于南非的含羞草上，把自己伪装得同其周围的棘刺完全区别不出来。根据这等考察，华莱士先生想像颜色显著的幼虫可能由于有一种恶味而得到保护的；但是，由于它们的皮极嫩，一受到创伤肠子就容易脱出，一只鸟只要用它的嘴轻轻把它们一啄，对它们来说就如同被吞食一样地可以致死。因此，正如华莱士先生所说的，"仅仅味道讨厌也许还不足于保护一只幼虫，除非有外在的标志向其可能的破坏者表示其牺牲品是一种味道恶劣的食物。"在这等情况下，一只幼虫能被所有鸟类和其他动物马上确定地认出它们是不好吃的，这也许对它非常有利。这样，最绚丽的颜色可能就有用了，并且通过变异和最易被识别的个体的生存而获得了这种颜色。

这一假说最初看来好像很大胆，但一把它提到昆虫学会①，却受到了种种发言的支持；詹纳·韦尔先生在一个鸟舍里养过大量的鸟，他告诉我说，他做过许多试验，发现所有夜出性的而且表皮光滑的幼虫，所有绿色的幼虫，以及所有模拟树枝的幼虫，一概都被他养的鸟贪婪地吃掉，对此毫无例外。那些有毛的和有刺的种类一律都被拒而不食，四个颜色显著的物种亦复如此。当这些鸟拒绝

① 《昆虫学会会报》，1866年12月3日，45页与1867年3月4日第LXXX页。

不吃一种幼虫时，它们用摇头和擦净鸟喙来明确表示讨厌这种味道①。巴特勒先生也把三种颜色显著的幼虫和蛾子给一些蜥蜴和蛙吃，它们虽爱吃其他种类的幼虫和蛾子，但对这三种却拒而不食。因此，华莱士先生观点的可能性得到了证实，即，某些幼虫变得颜色显著乃是为了其自身的利益，以便使其敌害容易地把它们认出，这同药商把毒药装在有色瓶里出售乃是为了人类安全几乎是同样道理。然而我们现在还不能这样来解释许多幼虫多种多样的雅致颜色；但是，任何一个物种在某一既往时期如果由于模拟周围的物体或者由于气候的直接作用等等，而获得了暗淡的、具有点斑的或条纹的外貌，那么，当这个物种的色调变得强烈而鲜明时，它的颜色几乎肯定不会一致；因为，仅仅为了使一种幼虫易于辨认，大概不会按照任何一定方向进行选择的。

有关昆虫类的摘要和结论

就上述几个“目”来看，我们知道雌雄常常在种种性状上有所差异，但其意义一点也弄不明白。雌雄二者的感觉器官和运动手段也常有差异，因而雄者可以迅速发现雌者并抵达那里。雌雄二者更常见的区别还有：雄者具有种种构造以抱持所找到的雌者。然而，我们这里所涉及的这些种类的雌雄差异还算是次要的。

在几乎所有的“目”中，有些物种的雄者，即使是娇弱的种类，据知也是高度好斗的；有少数物种具有特殊的武器，同其竞争者战斗。但战斗在昆虫中几乎不像在高等动物中那样普遍。因此，可能

① 参阅詹纳·韦尔先生关于昆虫类和食虫鸟类的论文，见《昆虫学会会报》，1869年，21页；以及巴特勒先生的论文，同前会报，27页。赖利先生也举出过类似的事实，见《关于密苏里州害虫类第三次年报》1871年，148页。然而，华莱士博士和道威尔(M. H. d'Orville)提出过一些相反的事例，见《动物学纪录》1869年，349页。

只有在少数场合中，才会发生雄虫变得比雌虫更强更大。相反地，它们通常都小于雌虫，以便在较短时间内可以完成发育，先雌虫而出现。

在同翅目的两个科、直翅目的三个科中，只有雄虫才具备有效状态的发音器官。这些器官在繁育季节不停地使用；这不仅是为了召唤雌虫，显然也是为了同其他雄虫竞赛以诱惑和刺激雌虫。凡是承认有任何种类的选择作用的人在读了上述讨论后，都不会再争论这些音乐器官是通过性选择而获得的。在其他四个目中，一种性别的成员，更普通的是雌雄双方的成员都具有可以发出各种声音的器官，这些声音显然只是作为呼唤之用。当雌雄双方都具有这类器官时，声音最高的或叫得最持久的个体也许比那些声音较低的个体先找到配偶，所以它们的器官大概是通过性选择而获得的。仔细想一想或者仅仅雄虫或者雌雄双方具有多样发音手段者不少于六个目，是会有所启发的。我们由此可以认识到性选择如何有效地引起了变异，这等变异如在同翅目中那样，同体制的重要部分是有关联的。

根据上一章所举出的原因，许多鳃角组昆虫以及某些其他甲虫，其雄者所具有的巨角大概是作为装饰物而获得的。因昆虫的体积小，我们就容易低估了其外貌。如果我们能想像披着一身亮光闪闪的青铜铠甲，而且长着复杂的大角的雄巨犀金龟（图 16）放大到一匹马、哪怕是一只狗那样大小，那么它也许是世界上最壮观的动物之一。

昆虫的颜色是一个复杂而暧昧不明的问题。当雄虫同雌虫的差别轻微而且双方颜色都不鲜艳时，这可能是由于雌雄二者在差别轻微的途径上进行变异的，而且这等变异各向其自身性别那一方传递下去，并不因此带来任何好处也不带来任何害处。当雄虫的颜色鲜艳并同雌虫差别显著时，如某些蜻蜓类和许多蝶类那样，那么雄虫的颜色可能是由于性选择所致；如果雌虫保持一种原始的

或很占老型式的颜色，则由于上述作用所发生的变异就是轻微的了。但在某些场合中，雌虫显然由于单独传递给她的变异而变得颜色暗淡，以作为直接保护自己的一种手段；几乎肯定的是，有时雌虫也会变得颜色鲜艳，以模拟栖息在同一地区的其他具有保护性的物种。当雌雄二者彼此相似而颜色又都暗淡时，在很多场合中它们的颜色之所以变得这样，无疑是为了保护自己。当雌雄二者都具有鲜明颜色时，有些情况也同上述一样，因为它们这样来模拟具有保护性的物种，或同周围的物体如花朵等相类似；或使其敌害注意到它们是不好吃的。在另外一些场合中，雌雄二者彼此相似又都颜色鲜艳，尤其是它们的颜色如果是为了夸耀，我们就可断定雄虫获得的这种颜色乃是作为一种性吸引，并把这种颜色传递给了雌虫。任何时候当在一整个类群中普遍存在着同样的颜色型式时，而且我们如果发现有些物种的雄虫和雌虫的颜色差别很大，而另外一些物种的雌雄颜色差别很小或完全没有差别，并且有中间的级进把这两个极端的状态联接起来，那么，这等情况尤其足以引导我们做出上述结论。

正如鲜明的颜色常常由雄者部分地传给雌者一样，许多鳃角类昆虫和某些其他甲虫异常巨大的角也是如此。还有，同翅目和直翅目雄虫所特有的发音器一般以残迹（退化）状态甚至以几乎完善的状态传递给雌虫；但没有完善到有任何用途。还有一个同性选择有关的有趣事实，即，某种同翅目雄虫的摩擦发音器要到脱最后一次皮时才完全发育，某些雄蜻蜓的颜色也要在羽化后较久并准备繁育时才完全发育。

性选择意味着，为异性所喜爱的是更富吸引力的个体；而对昆虫来说，当雌雄二者有所差异时，除少数例外，更富装饰的以及偏离这个物种所隶属的那种模式更远的，乃是雄虫；——因为正是雄虫热切地寻求雌虫，所以我们必须假定雌虫常常地或者偶尔地偏爱更美丽的雄虫，因而后者获得了它们的美。雄虫具有许多抱持雌

虫的独特装置，如巨颚、粘着垫、刺、延伸的腿等，用以抓住雌虫，从这等情况看来，在大多数或所有的"目"中，雌性昆虫可能具有拒绝任何特殊雄虫的能力；因这些装置表明在求偶活动中还有某种困难，所以雌者的同意似乎是必要的。根据我们所了解的各种昆虫的知觉能力和爱情来判断，认为性选择曾起了很大作用并非不可信的。但关于这个问题我们还没有直接的证据，而且还有些事实同这个信念相抵触。尽管如此，当我们见到许多雄虫追逐着同一只雌虫时，我们还是几乎无法相信这种配合是完全由于盲目的机会——即雌虫既不实行选择，也不受雄虫的华丽颜色或它们所具有的其他装饰物所影响。

如果我们承认同翅目和直翅目的雌虫欣赏其雄性配偶的和谐音调，而且它们的各种发音器官是通过性选择而完成的，那么其他雌性昆虫欣赏形状上颜色上的美丽，并因而导致雄虫获得这类性状，看来也很少有不可信之理。但由于颜色非常易变，并且由于为了保护自己颜色如此经常地发生改变，所以难于断定性选择所起的作用究竟占有多大比率。这一点在直翅目、膜翅目以及鞘翅目中尤其难于断定，它们的雌雄二者在颜色上很少有重大差异。因为在这里除类推法外并无其他方法可循。如上所述，在鞘翅目中有一鳃角大类群，某些作者把它置于该目之首，我们时常看到其中雌雄之间的相互依恋，我们还发现某些物种的雄虫为了占有雌虫的斗争而具有武器，另外一些雄虫则具有异常大的角，许多雄虫具有摩擦发音器官，其他则装饰着辉煌的金属色泽。因此，所有这等性状大概都是通过同样的途径，即性选择而获得的。至于蝶类，我们则掌握有最好的证据，因为雄蝶有时尽力夸示其美丽的颜色；这种夸示除非是用于求偶，否则我们就无法相信它们为什么要这样做。

当我们讨论鸟类时，我们将看到它们在其第二性征方面同昆虫类是最相似的。于是，许多雄鸟都非常好斗，有些还具有特别的武器，同其竞争者战斗。它们还具有在繁育季节中用来发出声乐和

器乐的器官。它们往往装饰着各式各样的肉冠、角状物、垂肉和羽毛，并且还具有美丽的颜色，这些显然都为了夸耀其美。我们将会发现，正如昆虫类那样，有某些群的雌雄二者都同样美丽，都同样地具有一般限于雄虫才有的那种装饰物。在其他类群中，雌雄二者则都颜色平淡，且无装饰。最后，还有某些少数异常的例子，表明雌者反比雄者更为美丽。我们将会常常发现，在同一个鸟的类群中，从雌雄之间毫无差异到雌雄之间具有极端差异，其间有各种等级。我们还会看到，母鸟像雌性昆虫那样，往往或多或少具有一些雄者所固有的并只对它们有用的那种性状，但这等性状是残迹的、即不发育的。确实，在鸟类和昆虫类之间所有这些方面的相似性是非常密切的。能应用于一个纲的无论什么解释大概也能应用于另一个纲；而这种解释，正如以后我们将进一步详细加以阐明的，就是性选择。

第十二章

鱼类、两栖类和爬行类的第二性征

鱼　类

雄者的求偶和争夺——雌者的较大体型——雄者，鲜明色彩和作为装饰的附器；其他奇特的性状——雄者只在繁殖季节才获得色彩和附器——雌雄二者均具鲜艳色彩的鱼类——保护色——不能根据保护原理来说明雌者色彩的较不显著——雄鱼筑巢并照顾卵和幼鱼。两栖类：雌雄二者在构造和色彩上的差异—发音器官。爬行类：龟类——鳄类——蛇类，颜色有时是保护性的—蜥蜴类及其斗争——作为装饰的附器——雌雄二者在构造上的奇特差异——色彩——雌雄差异之大几乎与鸟类相同。

我们现在讨论的是脊椎动物门的大亚界，先从最低等的纲，即鱼类开始。横口鱼类（鲨类，鳐鱼类）和银鲛类的雄者都有用以守住雌者的鳍脚，就像许多低等动物所具有的各种这样构造一样。除鳍脚外，许多魟鱼类的雄者在其头部都生有坚固锐利的刺丛，沿着"它们胸鳍的上部外表面"也有数行。有些物种的雄者生有这种刺丛，而其体躯的其余部分则是光滑的。刺丛只在繁殖季节才临时发育起来；京特博士怀疑它们靠着把躯体两侧向内和向下弯曲而起抱握器官那样的作用。有一个值得注意的事实，即，有些物种，如刺

背鳐鱼，其背上生有钩状大刺者为雌鱼而非雄鱼①。

毛鳞鱼（鲑科的一种）只有雄鱼才具有一条密集的毛刷状鳞隆起，当雌鱼在海滨沙滩飞泳和产卵时，有两个雄鱼凭借毛刷状鳞隆起之助各在一边以挟持之②。和毛鳞鱼大不相同的毡毛单角鲀也有一种多少相似的构造。正如京特博士向我说的，其雄者在尾部两侧生有一团肉冠似的坚硬直刺；在一个六英寸长的标本身上这种刺约为一英寸半；雌鱼在同一部位则生有一簇硬毛刷。还有一种鲀鱼，其雄鱼生有的那种毛刷同后一物种的雌鱼所生的那种毛刷相似，而雌鱼尾部两侧则是光滑的。在同一属的某些其他物种中，可以看出其雄鱼尾部稍现粗糙，而雌鱼的尾部则完全是光滑的；最后，在其他物种中，则雌雄二者的尾部两侧都是光滑的。

许多鱼类的雄者都要为占有雌者而斗争。例如，有人描写光尾刺鱼的雄者当雌者跑出其隐藏处来到前者为雌鱼做好的巢进行观察时，表现得"欣喜若狂"。"它在雌鱼的周围钻来钻去，又钻到储备在巢里的物资那里，马上又折回雌鱼这里，当雌鱼不前进时，它就试图用吻去推雌鱼，然后又用尾巴和边刺试着把雌鱼推进巢里。"③ 据说雄鱼是多配性的④；它们特别勇敢而好斗，而"雌鱼则都十分温和"。雄鱼之间的斗争常常是不顾死活的；"因为这些短小的斗士紧紧地互相缠住达数秒钟之久，翻过来滚过去，一直到它们显得体力已完全耗尽为止。"至于尾部粗糙的刺鱼，其雄鱼在互斗中绕来绕去，相互撕咬并以竖起的侧刺试图把对方刺穿。这同一位作者接着说⑤："这些狂暴的小东西撕咬起来很凶猛。它们还运用

---

① 雅列尔(Yarrell)，《英国鱼类志》(Hist. of British Fishes)，第2卷，1836年，417、425、436页。京特博士告诉我，刺背鱼的刺只限于雌者才有。

② 《美国博物学家》(The American Naturalist)，1871年4月，119页。

③ 参阅韦林顿(Warington)先生的有趣文章，见《博物学年刊杂志》，1852年10月和1855年11月。

④ 诺埃尔·汉弗莱斯(Noel Humphreys)，《水上公园》，1857年。

⑤ 劳登编辑的《博物学杂志》，第3卷，1830年，331页。

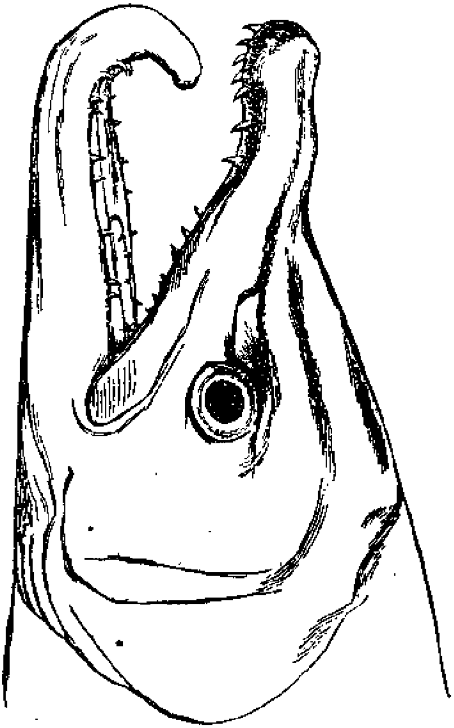


图 27 在生殖季节普通雄鲑鱼(*Salmo salar*)头部(这幅图以及本章其他插图都是由著名画家G. 福特先生在京特博士诚恳指导下根据大英博物馆的标本画出的)

其侧刺造成如此致命的效果，以致我曾见到在一次战斗中有一条雄鱼确实把其对手完全撕开使之沉下水底而死去。”当有一条鱼被征服时，“即行停止再向雌鱼献殷勤；它的华丽颜色随之减退；忍辱于其安静的伙伴之中，但在若干时间内它还是征服者所经常迫害的对象。”

雄鲑鱼同小刺鱼一样好斗；我听京特博士说，雄鳟鱼也是如此。肖先生见过两条雄鲑鱼的一次激烈斗争持续了整整一天；渔场监督布伊斯特先生也告诉我说，他从珀思的桥上常常看到在雌鱼产卵时，雄鱼把它的竞争者赶走。这些雄鱼“总是在产卵床上互相撕打不已，许多受伤严重而造成相当的死亡，还有许多在体力竭尽的状态下在岸边游动，显然已处于垂死之中。”[①] 彪斯特先生告诉我说，1868 年 6 月斯托孟菲尔得养鱼场的管理员访问了泰恩河北段，发现有 300 条死鲑鱼，其中只有一条雌鱼，其余都是雄鱼；他相信它们是在撕斗中丧生的。

雄鲑鱼最奇异之处是，它们在生殖季节，除色彩出现轻微变化外，“下颚延长并在颚端生出一个朝上翻卷的软骨突起，当上下颚闭合时，该突起就占满了上颚颚间骨之间的那个深腔。”[②]（图 27 和图 28）英国鲑鱼这等构造的变化只发生在繁殖季节；但洛德[③]先生认为，在美洲西北部所产的一种狼鲑这种变化却是永久性的，并且以前溯游到河里来的那些较老的雄鱼表现得最为显著。这些老雄鱼的下颚已经发展为一个巨大的钩状突起，上面的尖齿生长规

① 《田野新闻》(The Field)，1867 年 6 月 29 日。关于肖先生的叙述，参阅《爱丁堡评论》(Edinburgh Review)，1843 年。另一位有经验的观察家说道[斯克罗普(Scrope)的《在捕鲑鱼的日子里》(Days of Salmon Fishing)；60 页]雄鲑鱼就像公鹿那样，如它能够做到的话，就会把其他雄鱼全赶走。

② 雅列尔，《英国鱼类史》，第 2 卷，1836 年，10 页。

③ 《博物学家在温哥华岛上》(The Naturalist in Vancourer's Island)，第 1 卷，1866 年，54 页。

则，长度往往超过半英寸。按照劳埃德① 先生的见解，当一条雄欧洲鲑鱼猛攻另一条雄鱼时，这种临时性的钩状构造既加强了鱼嘴的力量，也为它提供了防护；但美洲雄鲑鱼极其发达的牙齿则可以同许多雄性哺乳动物的獠牙相比拟，这意味着这等尖牙与其说是为了防护的目的，倒不如说是为了进攻的目的更为恰当。

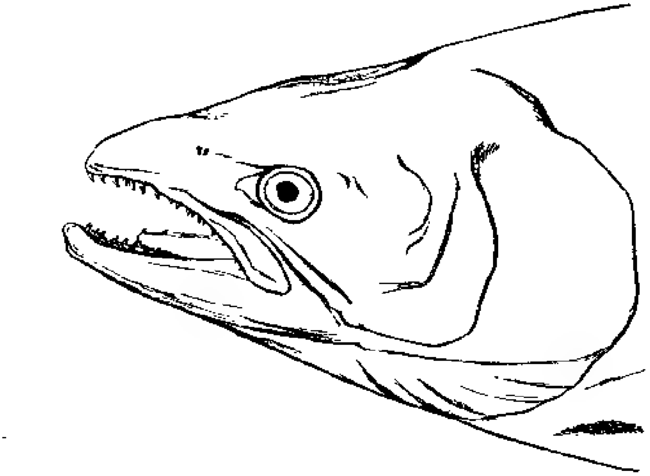


图 28 雄鲑鱼头部

鲑鱼不是雌雄牙齿相异的唯一鱼类；许多魟鱼也是如此。成年雄刺背鳐鱼具有朝后长的尖锐牙齿，而雌鱼的牙齿则阔而平；所以同一物种雌雄二者牙齿的这等差异要比同科不同属之间的通常差

① 《斯堪的纳维亚探险记》(Scandinavian Adventures)，第 1 卷，1854 年，100，104 页。

异更甚。雄鱼的牙齿要到成年时才变得尖锐：它们的牙齿在幼小时就像雌鱼那样是阔而平的。正如第二性征所屡屡发生的情况那样，鳐鱼类的某些物种（如 R. batis）在成年时，其雌雄二者都具有尖利的牙齿；在这里，为雄者所固有并首先为它所获得的一种性状似乎传递给了雌雄双方的后代。斑鳐雌雄二者的牙齿同样也是尖形的，但只在它们完全成熟时才如此；而雄鱼获得这种性状的时期则早于雌鱼。至于魟鱼类的其他物种，即使雄鱼在年老的时候也从不生长尖锐的牙齿，因而其成年的雌雄二者的牙齿都同它们幼小时一样，也同上述物种的成熟雌鱼的牙齿一样[①]，长得阔而平。由于鳐鱼是一种勇敢、强壮而贪婪的鱼类，我们可以想像其雄鱼之所以需要尖锐的牙齿乃是为了同其竞争对手进行争斗；但由于它们具有已发生变异而适于抱握雌鱼的许多部分，所以它们的牙齿也可能用于这一目的。

关于鱼的大小，卡邦尼尔[②] 主张几乎所有鱼类的雌者都比雄者大；京特博士也不知道有任何一个事例可以说明雄者比雌者大。至于某些鳉类，其雄者的大小甚至不及雌者的一半。正因为许多鱼类的雄者经常互斗，它们没有通过性选择的作用变得比雌鱼大而壮，确令人感到诧异。根据卡蓬尼尔的意见，雄鱼因体型小而蒙受损害，这个物种若是肉食性的，那么它们就容易被本种的雌鱼所吞食，也无疑会被别种鱼所吞食。雄鱼需要力强体大以与其他雄鱼进行争斗，而雌鱼体型的增大，在某种意义上其重要性必有大于此者。这也许是为了可以大量产卵之故。

在许多物种中，只有雄鱼才饰有鲜明的色彩；或者说，雄鱼的色彩比雌鱼鲜明得多。有时，雄鱼也具有附器，但它们对雄鱼的正

---

① 雅列尔，《英国鱼类志》，第 2 卷，1836 年，416 页，关于鳐鱼类的说明，附精美插图，再参阅 422、432 页。

② 为《农夫》（The Farmer）一书所引用，1868 年，369 页。

常生活用途并不比尾羽对孔雀更大。我感谢京特博士的善意，他向我提供了大部分的下述事实。有理由猜想许多热带鱼类的雌雄二者在颜色和构造上都有差异；英国鱼类在这方面就有一些显著的

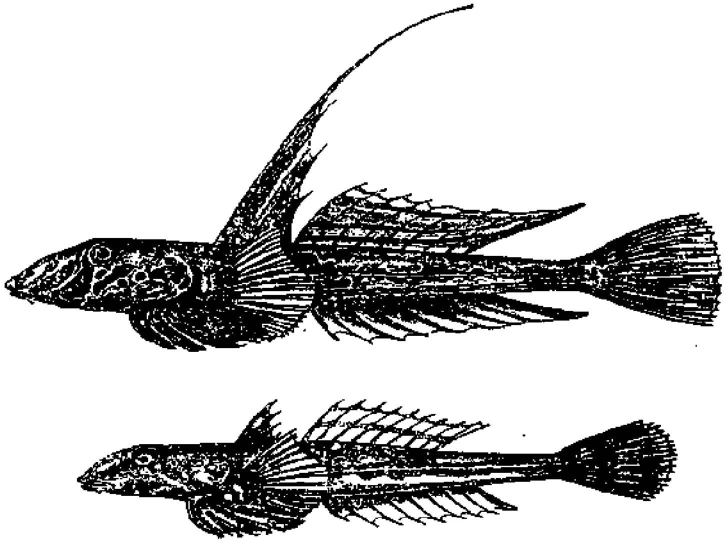


图 29 鲔(*Callionymus lyra*)
上图为雄鱼；下图为雌鱼。

事例。雄鲔"因其宝石般的鲜艳色彩"，而有宝石鲔之称。从海里捕获的这种活鱼，其躯体带有各种浓淡不同的黄色，其头部具有亮蓝色的条纹和斑点；其背鳍呈淡褐色并有暗色纵带斑；其腹鳍、尾鳍和臀鳍均呈蓝黑色。其雌鱼或称泥色鲔，曾被林奈以及其后的许多博物学者当作一个不同的物种；雌鱼们的颜色是红褐的，没有光泽，背鳍呈褐色，其他诸鳍则为白色。雌雄二者在头部和嘴部的大

小比例上以及眼睛着生的位置上也有差异①；但最显著的差异还在于雄者背鳍的特别延长（图29）。萨维尔·肯特先生说道，“我就圈养鱼种所作的观察得知，这等独特的附器同鹑鸡类雄者的垂肉、羽冠以及其他异常附器所从属的目的一样，都是为了雄者向其配偶献媚之用”②。幼小雄鱼在构造和颜色上都同成年雌鱼相似。在整个鰤属③中，雄鱼的斑点一般远比雌鱼的鲜明得多，还有几个物种，其雄鱼不仅背鳍长得多，而且臀鳍也长得多。

蠍杜父鱼亦称海蝎鱼其雄者比雌者细而小。它们之间在色彩上也有巨大差异。正如劳埃得先生④所说的，“当产卵时这种鱼的色彩极为鲜艳，任何人要是没有见过这种情况，他将难于想象这种混合的鲜艳色彩正是在那时装饰起来的，而在其他方面这种鱼并没有任何美丽之处。”杂种隆头鱼的雌雄二者虽在色彩上很不相同，但都是美丽的；其雄者呈橙色并带有亮蓝色的条纹，雌者呈鲜红色，背上有一些黑斑点。

在大不相同的鳉科中——国外的淡水鱼类——雌雄二者在种种性状上有时差异很大。黑帆鳉⑤雄者的背鳍极其发达，其上有一行颜色鲜明的大而圆的眼状斑；而雌者的背鳍却较小，形状也不同，其上只有不规则的曲线形的褐色斑点。雄者臀鳍的底边稍有延长，且色暗。一个亲缘关系相近的类型叫作剑尾鱼（图30），其雄者尾鳍的下缘发展成一条长的丝状物，正如京特先生对我述说的，其上有色彩鲜明的线条。这等丝状物不含任何肌肉，显然它对这种鱼不会有任何直接的用处。同鰤属情况一样，其雄鱼当幼小时在色彩

① 我的这一描述系根据雅列尔的《英国鱼类志》，第1卷，1836年，261和266页。

② 《自然》，1873年7月，264页。

③ 《大英博物馆棘鱼（*Acanth*）鱼类目录》，1861年，138—151页。

④ 《瑞典的猎鸟》，1867年，466页等。

⑤ 有关这个和以下的物种，我感谢京特博士所提供的材料；另参阅他写的论文：《中美洲的鱼类》，见《动物学会会报》，第6卷，1868年，485页。

和构造上都同成年雌鱼相似。这类性差异可以严格地同鹑鸡类如此常见的性差异相比拟[1]。

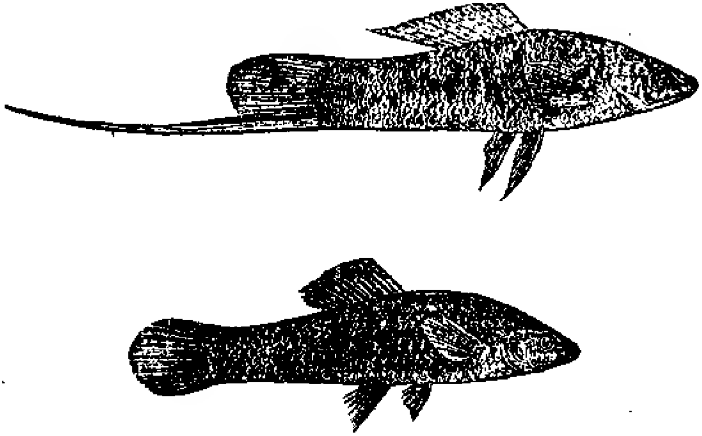


图 30 剑尾鱼(*Xiphophorus helleri*)。
上图为雄鱼;下图为雌鱼。

产于南美洲淡水中的一种鲇鱼叫作有须鲇鱼[2](图 31),其雄者的嘴和内鳃盖骨边缘布满硬毛胡须,而这在雌者方面连一点痕迹也没有。这等硬毛具有鳞片的性质。同属的另一个鱼种,从其雄者的头前部伸出一些柔软易弯的触须,而雌者则缺如。这等触须乃是真皮的延长物,因此和上述鱼种的硬毛不是同源;然而,几乎无法怀疑它们都是用于同一目的。至于这个目的究竟是什么,就难于猜测了;在这里它们似乎不可能是用作装饰,但我们几乎无法设想这等硬毛和易弯的丝状物只对雄者有任何正常的用途。那个叫作

① 这是京特博士的论述,见《大英博物馆鱼类目录》,第 3 卷,1861 年,141 页。
② 参阅京特博士关于这个属的文章,《动物学会会报》,1868 年,232 页。

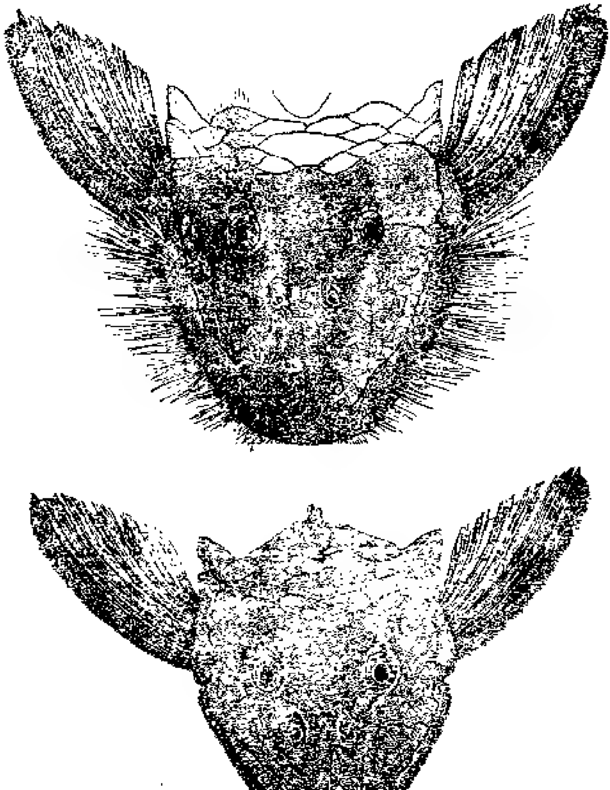


图 31　有须鲇鱼(*Plecostomus barbatus*)

上图为雄鱼的头;下图为雌鱼的头。

怪银鲛的陌生怪物，其雄者头顶长出一个钩形骨指向前方，其顶端变圆且为锐刺所覆盖；而雌者则完全没有这等冠饰，但这等冠饰对雄者可能有什么用途，则全属未明①。

到目前为止所谈到的那些构造都是在雄鱼到达成熟后才成为永久性的；但在鳚属以及其他亲缘相近的属中②，有些种类只在繁殖季节，其雄鱼头上的冠饰才发育起来，而且其躯体的色彩也同时变鲜艳。此等冠饰只是作为一种临时性的装饰，看来很少有疑问，因为雌鱼丝毫没有呈现这种痕迹。同属的其他物种，其雌雄二者均有冠饰，至少有一个物种其雌雄二者都不具有这样构造。阿加西斯教授对我说③，在雀鲷科的许多鱼类中，如 *Geophagus*，尤其是丽鱼，其雄者在前额上有一显著的突起部，而在雌者和幼小雄者的前额上则无。阿加西斯教授还说，"我常常见到这些鱼类前额突起部在产卵季节为最大，而在其他季节则消失，以致雌雄二者这时从头部侧面轮廓看显不出什么差别。我丝毫不能确定它对任何特殊机能有何帮助，亚马孙河上的印第安人对它的用途也一无所知。"

阿加西斯教授和京特博士对我说，有些鱼类的雄者在色彩上同雌者永不相同，这些鱼类往往在繁殖季节就会变得更加鲜艳。还有大量的鱼类也是如此，其雌雄二者的色彩在繁殖以外的所有季节里都完全相同。可举出丁鲹、拟鲤和鲈鱼为例。雄鲑鱼当此繁殖季节，"其双颊呈现橙色条纹，这使它具有隆头鱼的外观，其周身也现金橙色。而雌者的颜色则是暗黑的，故通常称为黑鱼"。④大南乳鱼雄者所发生的变化甚至更大；湖红点鳟雄者的色彩当繁殖季节

① 巴克兰，见《陆和水》(*Land and Water*)杂志，1868年7月，377页，附插图。有关雄者的特殊构造还可补充许多其他情况，它们的用处均属不明。

② 京特博士，《鱼类目录》，第3卷，221页和240页。

③ 另参阅阿加西斯教授及其夫人合著的《巴西纪游》(A Journey in Brazil)，1868年，220页。

④ 雅列尔《英国鱼类志》，第2卷，1836年，10、12和35页。

同样也比雌者更为鲜明①。美国网纹狗鱼的色彩，尤其是雄者的色彩，在繁殖季节变得极其浓烈、鲜艳和富于虹彩②。雄光尾刺鱼是这许多显著事例中的又一个，沃林顿先生③描述它在繁殖季节所表现的"美丽非笔墨所可形容"。而雌鱼的背和眼的颜色单调，均为褐色，腹部白色。反之，雄刺鱼的眼乃"最艳丽的绿色，且具金属光泽，如同某些蜂鸟的绿羽。其喉部和腹部均呈鲜明的艳红色，背部为灰绿色，整条鱼看来多少有点透明，犹如体内有个白热的光源在闪闪发亮。"繁殖季节一过，这等色彩就全变了，其喉部和腹部的红色变淡了，背部的绿色变深了，亮的色调消失了。

关于鱼类求偶的问题，自本书第一版问世以来，除已举出的刺鱼事例外，又观察到了一些其他例子。正如我们所知道的，杂种隆头鱼的雌雄二者在色彩上互不相同，肯特先生说，这种雄鱼"在池塘沙滩做好一深穴，然后不厌其烦地极力诱使同种的一条雌鱼与之同居，它在雌鱼和已竣工的新居之间游来游去，对于雌鱼的依从显然表示了最大的热望。"海管鱼的雄者当繁殖季节，则呈深铅黑色；然后离开鱼群并挖穴为巢。"现在每条雄鱼均走上警卫各自巢穴的岗位，并向任何其他雄鱼猛烈进攻，把它们赶走。然而对其异性的配偶，雄鱼的行为就大不相同；许多雌鱼眼下因怀卵而躯体膨大，雄鱼便以力所能及的各种办法，逐一地把雌鱼极力引诱至它所准备好的巢穴，以便把她们满怀的无数鱼卵产在那里，然后，雄鱼就以最大的小心保护和守卫着这些鱼卵。"④

卡邦尼尔举出一种中国红鲤雄者求偶以及夸示其美的显著事

① 汤普森(W. Thompson)，《博物学年刊杂志》，第6卷，1841年，440页。
② 《美国农学家》(The American agriculturalist)，1868年，100页。
③ 《博物学年刊杂志》，1852年10月。
④ 见《自然》，1873年5月，25页。

例。他对这等圈养中的鱼类进行了仔细观察[①]。雄鱼的色彩最为漂亮，比雌鱼要美得多。它们在繁殖季节为占有雌鱼而争斗；雄鱼在求偶行动中把鳍展开，鳍上具有斑点并饰以色彩鲜明的鳍刺，据卡邦尼尔说，其方式有如孔雀开屏一样。然后它们非常活泼地在雌者周围窜来窜去，炫耀"其鲜艳动人之色彩以便吸引雌鱼的注意，而雌鱼对雄鱼的这等动作也未尝不感兴趣，于是她们慢慢随着雄鱼一起游去，似乎很乐于同雄鱼作伴而呆在一起。"雄者赢得了其配偶之后，就从嘴里吹出空气和粘液形成一个小泡沫盘。接着它把雌鱼产的受精卵集拢在嘴里，这一现象曾使卡邦尼尔大为吃惊，以为这些卵要被雄鱼所吞食。但实际不然，雄鱼迅速地把卵附着在泡沫盘中，然后就守卫鱼卵、修补泡沫并对孵化的幼鱼进行照顾。我之所以要陈述这些细节，是由于我们马上就要见到有些鱼类的雄者是把卵搁在嘴里孵化的；那些不相信逐渐进化原理的人们大概要问这样一种习性何由而始；但是，我们如果知道某些鱼类是像上述那样收集和携带鱼卵的；那么这个难题就很容易理解了；因为，要是把卵存放于泡沫中的这件事因任何一种原因而受到耽搁，那么，也许就会获得把卵放在嘴里孵化的这种习性。

让我们回到更为直接的主题上来。情况是这样摆着：就我所知，如无雄鱼在场，雌鱼决不产卵；而如无雌鱼在场，雄鱼也决不放精。雄鱼为占有雌鱼而互相争斗。有许多物种，其雄鱼当幼小时在颜色上同雌鱼相似，但一到成年，就变得比雌鱼鲜艳得多，而且始终保持着这种颜色。另外有些物种，其雄鱼的颜色只在求偶季节才变得比雌鱼鲜艳，或者更富于装饰性。雄鱼孜孜不倦地向雌鱼求偶，有一个例子，像我们所见过的，雄鱼卖力地在雌鱼面前夸示其美色。难道能认为它们在求偶过程中的这等行为是毫无目的的吗？

① 《驯化协会会报》(*Bull. de la Soc. d'Acclimat*)，巴黎，1869年7月和1870年1月。

若有目的，则雌鱼一定要尽力进行某种选择，而且选取它们最中意的或使它们最受刺激的那些雄鱼。如果雌鱼尽力进行这等选择，那么所有上述有关雄鱼装饰的事实就可以借性选择之助立刻得到说明。

其次我们势必要追问，某些雄鱼通过性选择获得其鲜明色彩的这个观点，能否依据性状向雌雄双方同等传递的法则，引伸到雌雄二者色彩鲜艳的程度和式样都相同或几乎相同的那些类群上去。像隆头鱼这样的一个属，它含有世界上一些最绚丽的鱼类——以孔雀隆头鱼为例，有人用夸张手法描绘说①，它的鳞片是用闪闪发亮的黄金制成的，周身还镶饰着天青石、红宝石、蓝宝石、翡翠和紫水晶——关于这个属，我们多半可以接受上述说法；因为我们知道，该属至少有一个物种的雌雄二者在色彩上是大不相同的。至于有些鱼类，正如许多低等动物那样，其华丽的色彩可能是其组织性质以及环境条件的直接结果，而并未借助于任何种类的选择。金鱼，根据普通鲤鱼的金色变种来类推，也许是一个恰当的例子，因为它的华丽色彩大概是由一种单纯的突然变异所形成的，而这种突然变异乃是它所处的圈养条件引起的。然而，更为可能的是这等颜色是通过人工选择而被加强的，因为从遥远的古代这个物种在中国就被精心培育出来了②。在自然条件下，像鱼类这样高级体制的动物，生活于如此复杂的关系中，要说从如此一种巨大的变化中

---

① 圣万桑(Saint Vincent)，《博物学辞典》(Dict. d' Hist. Nat.)第 9 卷，1826 年，151 页。

② 由于我在《动物和植物在家养下的变异》一书中有关于这一问题的一些论述，因而迈耶斯(W. F. Mayers)先生(见《关于中国的笔记和质疑》，Chinese Notes and Queries，1868 年 8 月，123 页)查阅了中国古代百科全书，他发现金鱼最早是在宋朝于圈养中培育出来的，该朝始于公元 960 年。到公元 1129 年这等金鱼已遍及各地。该书另一处宣称，公元 1548 年以来，"在杭州产生了一个变种，以其浓烈的红色而称之为火鱼。它受到了普遍的赞赏，乃至没有一家不养它，而且以其颜色互相竞赛，并把它作为一种赢利的来源"。

既没有受到某种祸害也没有得到某种益处，因而没有受到自然选择的干预，它们就会变得色彩鲜艳，看来是不大可能的。

那么，对于雌雄色彩都华丽的许多鱼类，我们将作出怎样的结论呢？华莱士先生认为[1]，有些物种常常出没于礁石之间，那里富有珊瑚虫和其他色彩鲜明的有机体，因而这等物种的色彩也变得鲜明，以免被其敌害发现；但根据我的回忆，它们却因此表现得极其显眼。在热带的淡水中并无色彩鲜艳的珊瑚虫或其他有机体可供鱼类模仿；但亚马孙河的许多鱼种却着有美丽的色彩，印度的肉食性鲤科有许多鱼类也饰有"各种彩色鲜明的纵线条。"[2] 麦克莱兰先生在描写这些鱼类时竟离奇地设想"其色彩之特别鲜艳"是给"那些注定要来抑制其数量增殖的翠鸟、燕鸥以及其他鸟类提供一种较易识别的标志；"然而今日博物学家们很少承认任何动物之所以变得显眼乃是为了加速其自身的毁灭。某些鱼类变得显眼可能是为了警告那些猛禽和猛兽，表示它们是不好吃的，就像我们讨论鳞翅目幼虫时所阐明了的那样；但我相信，还不知道有任何一种鱼，至少是任何一种淡水鱼，因味道不好而被食鱼的动物所拒绝。总之，关于雌雄色彩都鲜艳的鱼类，最近理的观点是，这等色彩作为一种性的装饰先由雄者所获得，而后把它同等地或几乎同等地传递给了雌者。

我们现在必须考虑的是，当雄者在色彩上或其他装饰上以显著的方式同雌者有所差异时，是否只是雄者发生了变异，而且这等变异只遗传给其雄性后代；或者，雌者发生了特殊变异，为了保护自己而变得颜色暗淡，这等变异是否只遗传给雌者。无可怀疑，许多鱼类所获得的色彩乃是作为一种保护；凡是察看过比目鱼斑点

---

① 《西敏斯特评论》，1867 年 7 月，7 页。

② 麦克莱兰先生的《印度的鲤科》一文，(Indian Cyprinidae)见《亚细亚研究》(Asiatic Researches)，第 19 卷，第 2 部分，1839 年，230 页。

累累上部表面，谁都无法忽视这等表面同它所栖息于其上的海底砂床的相似性。再者，某些鱼类能通过其神经系统的作用在短时间内改变其颜色以同周围物体相适应①。关于利用其颜色以及利用其形状来保护自己的动物，见诸记载的最显著事例之一（根据保藏的标本所能判断的来说），是由京特博士举出的②，即，具有红光四射的丝状体的海龙同海草之间几乎无法加以区别，而它是用抱握性的尾部缠附于海草之上的。但现在所要考虑的问题在于是否只有雌鱼才为了保护的目的而发生变异。我们可以知道，假定雌雄双方为了保护的目的通过自然选择都发生了变异，那么任何一方所发生的变异决不会超过另一方。除非是其中一方暴露于危险之中的期间比另一方长，或者逃避这样危险的能力比另一方差；然而在这些方面鱼类的雌雄二者看来并没有什么差别。如果说有任何差别的话，充其量也无非是雄鱼因其体型一般较小，而且较常游动，所以比雌鱼所面临的危险较大而已；尽管如此，一旦雌雄之间出现差异时，几乎总是雄鱼的色彩更为显著。鱼卵一经产下马上就会受精；如果这个过程像鲑鱼的情况那样③，要持续数日的话，则雌鱼在这整个产卵期间里一直都会由雄鱼伴随左右。在大多数场合中，鱼卵受精后就被其双亲弃置不顾，而失去了保护，因此就产卵而论，雄鱼和雌鱼所面临的危险是相等的，而且对于受精卵的产生，双方的重要性也是同等的；因此，任何一性的色彩鲜艳的个体，无论其鲜艳程度或大或小，其遭受毁灭或得到保存的倾向大概都是同等的，而且双方对其后代色彩的影响大概也是同等的。

属于若干个科的某些鱼类会筑巢，其中有些还会照顾刚孵化出来的幼鱼。颜色鲜明的锯隆头鱼的雌雄二者共同合作用海草和

---

① 普歇，《研究》(L'Institut.)，Nov. 1，1871 年，134 页。

② 《动物学会会报》，1865 年，327 页，图 14 和 15。

③ 雅列尔，《英国鱼类志》，第 2 卷，11 页。

贝壳等材料修筑其巢穴①。但某些鱼类的雄者则单独承担了这项工作，以后还专门负责照顾幼鱼。颜色暗淡的刺鰕虎鱼类的情况正是如此②，其雌雄二者的颜色据知并无差异，刺鱼的情况也是如此，其雄者的色彩在产卵季节则变得鲜艳。光尾刺鱼的雄者在一段长时间内以堪称模范的谨慎和警惕履行其作为一个"保姆"的义务，当幼鱼离巢太远之际，它还不断地徐徐把它们引还巢去。它还勇敢地把所有敌害赶走，包括其本种的雌鱼在内。倘若雌鱼产卵完毕后马上就被某种敌害所吞食，这对于雄鱼的确可能是一个不小的安慰，因为要不如此，它就得不停地把雌鱼从巢里赶走③。

栖息于南美和锡兰的某些其他鱼类，属于两个不同的"目"者，其雄鱼有一种异常的习性，把雌鱼产下来的卵集拢在嘴里或鳃腔里孵化④。亚加西兹教授告诉我说，亚马孙河的鱼种的雄者就有这种习性，"它不仅在一般时期比雌鱼颜色鲜明，而且这种差异在产卵季节比在其他任何时期还要大"。*Geophagus* 的鱼种也同样如此；在这个属中，雄鱼的前额在生殖季节有一个显著的突起物发育起来。关于鲷鱼类的各个物种，阿加西斯教授告诉我说，在以下各种场合中都可观察到其颜色上的性差异，即，"无论它们把卵产于水生植物之间的水里或把卵产于穴中，任其孵化，不再进一步给予照顾；还是在河泥里筑造浅巢，就像英国的刺盖太阳鱼那样坐在其上。还应注意到这等坐巢鱼在它们各自所属的科中乃是颜色最鲜明的物种；例如，*Hygrogonus* 是亮绿色的，具有黑色大眼斑，眼斑

---

① 根据格贝(M. Gerbe)的观察；参阅京特的《动物学文献著录》，(Record of Zoolog. Literature)，1865年，194页。

② 居维叶，《动物界》(Règne Animal)，第2卷，1829年，242页。

③ 参阅沃林顿先生对光尾刺鱼习性的最有趣的描述，《博物学年刊杂志》，1855年11月。

④ 怀曼教授，见《波士顿博物学会会报》，1857年9月15日，特纳教授，见《解剖学和生理学杂志》，1866年11月1日，78页。同样地，京特博士也描述过其他事例。

环以最显著的艳红色。"在鲷鱼类的所有物种中，是否具有雄鱼才坐守卵上，尚属不明。然而，鱼卵受到双亲保护或不受到保护这一事实显然对于雌雄之间的颜色差异并无多大影响或根本没有影响。更加显然的是，在雄鱼专门负责守护鱼巢和幼鱼的所有场合中，颜色较鲜明的雄鱼之毁灭，其对于本族性状的影响比颜色较鲜明的雌鱼之毁灭所造成的影响要深远得多，这是因为在卵的孵化或养育幼鱼期间，雄鱼的死亡将会招致幼鱼的死亡，所以就不能将其特性遗传给幼鱼；尽管如此，在许多这等场合中，雄鱼的色彩还是比雌鱼的更为显著。

在大多数总鳃类（海龙、海马等）中，雄鱼的腹部不是具有袋囊就是具有半圆形的凹陷，用以承受雌鱼产下来的卵并孵化之。雄鱼还显示了对幼鱼的强烈依恋①。雌雄二者的色彩通常差异不大；但京特博士相信雄海马的色彩比雌海马的鲜明。然而，剃刀鱼属提供了一个奇妙的例外②，因其雌者色彩之强烈以及斑点之多均远比雄者为甚，而且只有雌者具袋状腹囊以孵化鱼卵；所以剃刀鱼的雌者在后述这一点和所有其他总鳃类都不相同，而在其色彩比雄者更为鲜艳方面也几乎和所有其他鱼类不同。雌者性状这种双重的颠倒，看来不可能是一种偶然的巧合。由于专门照顾鱼卵和幼鱼的若干鱼类的雄者在色彩上比雌者更为鲜艳，还由于这里提到的剃刀鱼的雌者负有同样的责任，而且其色彩比雄者更为鲜明，因而可以这样辩解：雌雄两性中对后代繁荣较为重要的那一性，其显著色彩必定在某种方式上是保护性的。但从雄者色彩比雌者更为鲜艳的大量鱼类来看，无论这等色彩是永久性的还是临时性的，雄鱼的生命对于本种的繁荣决不比雌鱼的更为重要，因此上述这种见解

① 雅列尔，《英国鱼类志》，第 2 卷，1836 年，329、338 页。

② 自从记述这个物种的《桑给巴尔的鱼类》(The Fishes of Zanzibar)一书出版后(普莱费尔上校著，1866 年，137 页)，京特博士又重新检查了这些标本，并给我提供了上述材料。

几乎无法成立。当我们讨论鸟类时，还要遇到相似的情况，即，雌雄二者的正常属性完全颠倒了，到那时我们将会提出一个也许是合理的解释，这就是说，雄者选择更富吸引力的雌者，而不是按照整个动物界的正常规律，由雌者选择更富吸引力的雄者。

总之，我们可以断定，关于雌雄色彩或其他装饰性状有所差异的大多数鱼类，雄者最先发生了变异，然后将其变异传递给同一性别，并且通过以吸引或刺激雌者来实现的性选择把这等变异积累起来。然而，在许多场合中，这等性状或是部分地或是全部地转移给了雌者。再者，在其他一些场合中，雌雄二者为了保护自己而有相似的色彩；但似乎没有任何事例表明，只有雌者为了保护的目的而在颜色或其他性状上特殊地发生了变异。

需要加以注意的最后一点是，据知鱼类会发出各种各样的声响，有的声响据描写犹如音乐一般。对这个问题特别注意的迪福塞博士说，这等声音是由不同鱼类以若干方法故意发出的：或靠咽头骨摩擦而发声——或靠附于鳔上的某些肌肉振动而发声，而鳔则用作一种回声板——有的还靠鳔的内肌振动而发声。魴鮄属用后面这种方法发出一种纯正而拖长的声音，约在八音度范围之内。但使我们最感兴趣的一个事例是鼬鳚属有两个物种，只有它们的雄者才具发音器官，这种器官是由具有专门肌肉的、同鳔相连接的、能动的诸小骨构成的①。欧洲海洋中的蓢鱼类据说在 20 呎②深的海底发出来的冬冬响声还可以被听到；罗歇尔地区的渔民断言，“只有其雄鱼在产卵时期才会发出这样响声；其声音可加以模仿，

---

① 《法兰西科学院院报》(*Comptes Rendus*)，1858 年，第 46 卷，353 页；1858 年，第 57 卷，916 页；1862 年，第 54 卷，393 页。蓢鱼类(鹰石首鱼 *Sciaena aquila*)所发出的声音，据一些作者说，与其说象鼓声，莫如说更象笛声或风琴声；祖特文博士在这本书的荷文译本(第 2 卷，36 页)中进一步举出了有关鱼类发声的一些细节。

② 一呎(fathom)等于 6 英尺，20 呎约等于 36 米。——译注

因此不用诱饵即可将它们捕获"①。根据这个说法，尤其是根据鼬鳚属的事例，几乎可以肯定，脊椎动物中这个最低等鱼纲的发音器官，就像如此众多的昆虫类以及蜘蛛类那样，至少在某些场合中是作为把雌雄聚合在一起的一种手段，而且这等发音器官是通过性选择而发展起来的。

两　栖　类

有尾目

从有尾两栖类开始讲起。蝾螈的雌雄二者往往在色彩和构造上都大不相同。在某些物种中，雄者的前肢于生殖季节有抱握爪发育起来；雄蹼足北螈的后足在此季节有游泳蹼，而在冬季又几乎完全被吸收了；因而这时雄者的足遂与雌者的相类似②。毫无疑问这等构造有助于雄者对雌者的追求。它向雌者求爱时即迅速摆动其尾端。关于英国的普通小蝾螈（斑北螈和冠北螈），雄者在生殖季节有一条深缺刻的多锯齿冠饰沿其脊背和尾巴发育起来，到冬季就消失。圣乔治·米伐特先生告诉我说，这种冠饰无肌肉，因此不能用于运动。由于这种冠饰的边缘在求偶季节变得色彩鲜明，所以这是一种雄性的装饰，几乎没有疑问。还有许多物种的躯体呈现了差别非常悬殊的色调，平时是灰黄色，但到生殖季节则变得比较鲜艳。例如英国普通小蝾螈（斑北螈）的雄者，其"上面为灰褐色，下面为黄色，到春季又变为一种鲜艳的橙色，并有圆形黑斑分布于身体

---

① 金斯利（C. Kingsley）牧师，《自然》，1870年5月，40页。

② 贝尔，《英国爬行类志》（History of British Reptiles），第2版，1849年，156—159页。

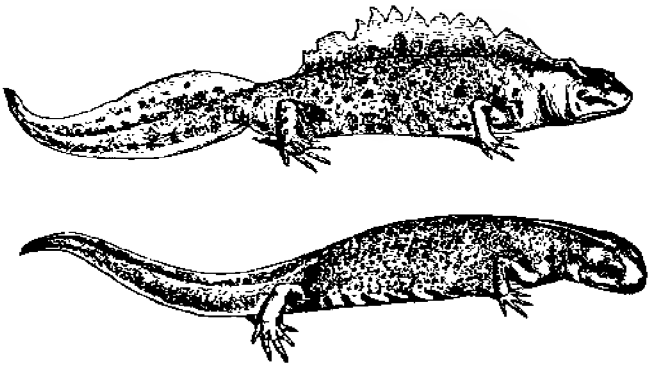


图 32 冠北螈(*Triton cristatus*)(原体大小之半,采自贝尔的《英国爬行类志》),上图为生殖季节的雄者;下图为雌者。

各处。"这时,其冠饰的边缘也呈鲜红色或紫色。其雌者平时为黄褐色,杂以褐色斑点,其底面的颜色则往往十分单调①。幼者的色彩是暗淡的。卵在排出过程中即受精,随即被其双亲弃之不顾。由此我们可以断定,雄者是通过性选择获得其十分显著的色彩和装饰性附器的;这等性状或专向雄性后代传递,或向雌雄双方传递。

无尾目或蛙类

许多蛙类和蟾蜍类的色彩显然是作为保护之用的,如雨蛙的鲜绿色彩以及许多陆栖物种的斑驳而暗淡的色调就是如此。我曾见过的色彩最显著的蟾蜍是黑蟾蜍②,其躯体的整个上表面黑如墨水,脚蹠以及腹的局部则有最鲜明的朱红斑点。在拉普拉塔的灼

① 贝尔,《英国爬行类志》,第2版,1849年,146、151页。

② 《贝格尔号舰航海中的动物学研究》,1843年,贝尔,同上书,49页。

热太阳下，它在不毛的砂地或开阔的草原上到处爬行，不会不被每一只路过的动物所看见。这等色彩对它大概是有利的，因为这可以使所有猛禽类知道这种动物是一种味道恶劣的食物。

尼加拉瓜有一种小蛙，“披着一身红色和蓝色的鲜艳装束”，它不像大多数其他物种那样把自己隐蔽起来，而在大白天到处蹦跳，贝尔特先生说[①]，他一见到它那泰然自若的样子，就深信它是不可食的了。经过若干次试验后，他才成功地诱使一只幼小雌鸭衔住一只这种幼蛙，但马上就把它丢掉了；这只鸭子“甩动脑袋走来走去，犹如试图甩掉某种讨厌的味道一样。”

关于雌雄颜色的差异，无论是蛙类还是蟾蜍类，京特博士都不知有任何显著的事例；但他常常能凭雄者比雌者的稍为浓烈的色彩就可以把雄者同雌者区别开来。关于外部构造，他也不知道雌雄二者有任何显著差异，除了雄者的前肢上有些突起在生殖季节变得发达起来，借此以抱持雌者[②]。这等动物没有获得更为强烈显著的性征是令人奇怪的；因为，它们虽是冷血动物，但其激情却是强烈的。京特博士告诉我说，他有几次发现一只不幸的雌蟾蜍因被三四只雄者如此紧紧地抱住而窒息闷死。霍夫曼教授在吉森见过蛙类当生殖季节终日争斗不止，而且进行得如此激烈，以致其中一只的躯体竟被撕裂。

蛙类和蟾蜍类有一种有趣的性差异，即雄者具有发出音乐声响的能力；但说到音乐，如果把这个名词应用于雄菜蛙和某些其他物种所发出的那种压倒一切的不谐和声响，按照我们的欣赏力来说，似乎是非常不适当的。然而，有些蛙类的鸣唱无疑还是悦耳的。在里约热内卢附近，我惯于在傍晚坐下来，倾听那些栖息在水草上

① 《博物学者在尼加拉瓜》(The Naturalist in Nicaragua)，1874年，321页。

② 有一种锡金蟾蜍(Bufo sikimmensis)，只是其雄者的胸部有两块碟状老茧皮，脚趾上也有某些绉纹，这也许和上述的突起物一样有助于达到同一目的（安德森博士，《动物学会会报》，1871年，204页）。

的小雨蛙发出来的谐和而美妙的声调。这各种声音主要是雄者在生殖季节发出的，犹如英国普通蛙在这种场合中也哇哇地乱叫一样[①]。与此事实相一致的是，雄者的发音器官比雌者的更为高度发达。在一些属中，只有雄者才具有与喉相通的囊[②]。例如，食用蛙"的囊是雄者所特有的，在哇哇鸣叫时囊中充满了空气，成为球状的大气胞，位于头部两侧的嘴角附近。"这样，雄者的哇哇叫声表现得十分有力；而雌者的叫声只不过是一种微弱的呻吟而已[③]。在这一科的某些属中，发音器官的构造大有差异，在所有场合中，它们的发达大概可以归因于性选择。

爬 行 类

龟 类

龟类和海龟类都没有呈现十分显著的性差异。在某些物种中，雄者的尾比雌者的较长。有些物种的雄者，其腹甲或其甲壳的下表面轻微凹陷而同雌者的背甲隆起相吻合。美国雄锦龟前足的爪为雌者的两倍长；在交配时使用[④]。加拉帕戈斯群岛有一种巨龟，名为黑陆龟，其雄者成熟后的躯体据说大于雌者：雄者只在交配季节期间，而不在其他期间，发出一种嘶哑的吼声，可闻于100多码以外；反之，雌者决不发出叫声[⑤]。

---

① 贝尔，《英国爬行类志》，1849年，93页。
② 比肖波，《托德编的解剖学和生理学全书》，第4卷，1503。
③ 贝尔，同前书，112—114页。
④ 梅纳德(C. J. Maynard)，《美国博物学者》(The American Naturalist)，1869年12月，555页。
⑤ 参阅我的《"贝格尔"号航海调查日记》，1845年，384页。

关于印度的丽陆龟，据说"其雄者在争斗中互相冲撞时所发出的声音可闻于一定的距离。"①

鳄 类

其雌雄二者的颜色显然无差异；我也不知道有雄者互斗之事，尽管这是可能的，因为有些种类的雄者在雌者面前尽量夸示自己。巴特兰姆② 描写过在咸水湖中有一只雄性短吻鳄，为了尽力赢得雌者，而在湖中兴浪作波和大声吼叫，"鼓气到快要爆裂的程度，头尾高举，在水面上跳跃转圈，犹如一个印第安人的酋长在练武一样。"在求爱季节，鳄的颌下腺散发出一种麝香气味弥漫在它经常出没的地方③。

蛇 类

京特博士告诉我说，其雄者总是小于雌者，而且一般具有比较细而长的尾巴；但在外部构造上，他不知道有任何其他差异。关于颜色，他依据雄者的更为强烈显著的色彩，几乎总能把它同雌者区别开来；例如，英国雄蝮蛇背上的那种之字形黑色带斑比雌者的更为显著。北美响尾蛇雌雄之间的差异就更加明显得多，如动物园管理员指给我看的，其雄者周身均具有更为灰白的黄色，所以立刻可以把它同雌者区别开来。南非洲有一种蛇叫做牛头蛇，它表现有某种相似的差异，因其雌者"从不像雄者那样在其身体两侧如此充分地具有黄的斑纹。"④ 反之，印度有一种毒蛇，名为双突齿食螺蛇，

---

① 京特博士，《英属印度的爬行类》(Reptiles of British India)，1864 年，7 页。
② 《卡罗利纳游记》(Travels through Carolina)，1791 年，128 页。
③ 欧文，《脊椎动物解剖学》，第 1 卷，1866 年，615 页。
④ 安德鲁·史密斯爵士，《南非动物学：爬行纲》，1849 年，图 10。

其雄者呈黑褐色，腹部的一部分为黑色，而雌者则呈微红色或淡绿色，腹部或一律为黄色或有黑色大理石斑纹。该地还有一种蛇，叫作*Tragops dispar*，其雄者为鲜绿色，而雌者则呈青铜色[①]。某些蛇类的色彩无疑是保护性的，如树蛇类所呈现的绿色以及生活在沙质地方的那些物种所呈现的各种浓淡颜色的斑纹都是如此；但有许多种类，如英国的蛇和蝮蛇，其色彩是否用来隐蔽自己仍是一个疑问；对许多具有极为漂亮色彩的外国蛇的物种来说，这一疑问就更大了。有些蛇的物种，其色彩在成年时和幼小时很不相同[②]。

蛇类肛门香腺的功能在生殖季节变得活跃了[③]；蜥蜴类的肛门腺以及鳄类的颌下腺都是如此。由于大多数动物都是雄者寻求雌者，所以这等香腺与其说是为了把雌者引至雄者所在的地点，莫如说是为了刺激雌者或向它献媚。雄蛇虽然显得那样懒惰，却也多情；因为，曾见过许多条雄蛇集拢在同一条雌蛇的周围，甚至后者是一条死蛇，也会如此。尚未发现雄蛇因竞争雌蛇而互斗。它们的智力要比可能预料到的为高。它们在动物园里很快就懂得不能去碰撞用来打扫其笼子的铁栅门；费城的基恩博士也告诉我说，他养的某些蛇类经历四五次后就懂得避开一种活套，用这种活套，起初很容易就把这些蛇逮住。锡兰有一位杰出的观察者莱亚德先生见过[④]一条眼镜蛇把头伸入一个窄洞去吞食一只蟾蜍。"由于增加了蟾蜍这个障碍，它无法从窄洞缩回来；发现了这一点后，就勉强吐出了这口开始争脱的宝贵食物；但这同蛇的哲学太不相容了，于是蟾蜍再次被它弄住，这条蛇经过剧烈的努力以图逃脱后，不得不再

① 京特博士，《英属印度的爬行类》，雷蒙特协会，(*Ray Soc.*)，1864年，304、308页。

② 斯托里兹卡(Stolczka)博士，《孟加拉亚细亚协会杂志》，第39卷，1870年，205、211页。

③ 欧文，《脊椎动物解剖学》，第1卷，1866年，615页。

④ 见《锡兰漫笔》(Rambles in Ceylon)，见《博物学年刊杂志》，第2辑，第9卷，1852年，333页。

把口中的食物舍掉。然而这一次它得到了教训，于是咬住蟾蜍的一只腿，把它拖出，然后吞之。”

动物园的管理员证实，某些蛇类，如响尾蛇属和蟒蛇属，都能把他同别的人区别开。关在同一个笼里的眼镜蛇相互之间显然有某种依恋之情①。

然而，不能因为蛇类具有某种推理力、强烈的激情以及相互的爱情，就认为它们也同样赋有充分的鉴赏力以欣赏其配偶的鲜艳色彩，因而通过性选择使鲜艳色彩成为物种的装饰。但某些物种的极端美丽是难于以任何其他方法加以说明的，举例说，南美的珊瑚蛇类呈艳红色，并具黑色和黄色的横带斑。我记得很清楚，当我在巴西第一次见到一条珊瑚蛇滑过一条小路时，它的美色使我感到非常惊奇。正如华莱士先生根据京特博士的材料所说的②，全世界除南美洲外，没有任何一处地方的蛇类有这种特殊颜色，而且在南美洲发现的这种蛇至少有四个属。其中一个属叫作 *Elaps*，是有毒的；第二个大不相同的属，是否有毒尚属疑问，其他两个属则完全是无毒的。属于这几个不同属的物种均栖息于同一地区，而且彼此如此相像，以致“除非博物学者大概谁也不能把无毒的种类和有毒的种类加以区分”。因此，正如华莱士先生所相信的，无毒的种类大概是为了保护自己，根据拟态的原理，而获得其色彩的；这是因为其敌害自然会认为它们是危险的。然而，有毒的 *Elaps* 鲜明色彩的形成原因尚有待于阐明，这个原因也许就是性选择。

蛇类除嘶嘶鸣叫外还能发出其他声音。巨毒的龙首蝮蛇其躯体两侧各有数行构造特殊的斜鳞片，鳞片边缘为锯齿形；当引得这种蛇激动时，这等鳞片就互相摩擦，产生“一种奇妙而拖长得近似

① 京特博士，《英属印度的爬行类》，1864 年，340 页。
② 《威斯敏斯特评论》，1867 年 7 月 1 日，32 页。

嘶嘶的声音。"① 关于响尾蛇所做的咔哒咔哒响声，我们终于得到了一些确实的材料：因为奥盖教授说②，他曾两次把自己荫蔽起来，在一段不远处注视着一条响尾蛇盘蜷昂首，持续发出间隔短暂的嘎啦嘎啦响声达半小时之久：最后他见到另一条蛇来到了，它们相遇后即行交配。因此，他满意地认为这种嘎啦嘎啦声的用途之一就是把雌雄二者引到一块。遗憾的是，他不能确定在原处保持不动而招引异性的到底是雄者还是雌者。但根据上述事实，决不能说这等嘎啦嘎啦声对这些蛇类就不会有其他用途，例如作为对某些动物的警告大概就是一种用途，否则这等动物也许要对它们进行攻击。关于这等声响会使它们的捕获物吓得瘫痪的若干记载，我也不能完全置之不信。还有某些其他蛇类，把它们的尾部对着周围的树干迅速摆动，而发出一种清晰的声响；我在南美亲自听过一条蝮蛇发出的这种声音。

蜥蜴类

蜥蜴类的一些种类的雄者，也许是许多种类的雄者都因竞争雌者而互斗。例如南美树栖的冠饰安乐蜥就极其好斗："在春季和初夏期间，两只成熟的雄者相遇时很少不发生争斗的。它们最初相遇之际，频频点头三四次，同时喉下的襞状部或喉囊便膨胀起来；双眼闪耀着愤怒的光芒，左右摆尾数秒钟，好像是聚集气力，然后彼此猛扑，上下翻滚，互相用牙齿紧紧地咬住不放。这场冲突一般以战斗的一方失去尾巴而告结束，常常是胜利者把对方的尾巴吃掉。"这个物种的雄者远远大于雌者③；根据京特博士所能确定的

① 安德森博士，《动物学会会报》，1871 年，196 页。

② 《美国博物学者》，1873 年，85 页。

③ 奥斯汀先生把这些动物养活了相当长的一段时间；见《陆和水》，1867 年 7 月，9 页。

来说，这一点乃是蜥蜴类的一般规律。安达曼群岛的红裸趾虎只有雄者具肛前孔；根据类推，这种孔大概是用以散发香气的①。

雌雄二者的各种外部性状往往大不相同。上述安乐蜥的雄者沿着其脊背和尾巴生有一条冠饰，可以随意竖起；但雌者没有这等冠饰的丝毫痕迹。印度聋蜥的雌者也有一脊冠，但远不及雄者的发达。正如京特博士告诉我的，许多鬣鳞蜥类、避役类以及其他蜥蜴类的情况也是如此。然而，在某些物种中，雌雄二者的冠饰是同等发达的，如瘤疣鬣鳞蜥即是。在赛塔蜥蜴这一属中，只是雄者才具有一个大喉袋(图 33)，它可以像一把扇子那样折叠起来，呈蓝、

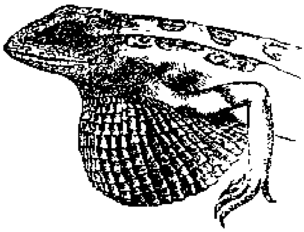


图 33　雄赛塔蜥蜴(*Sitana minor*)具有膨胀的喉袋

(采自京特的《印度的爬行类》)

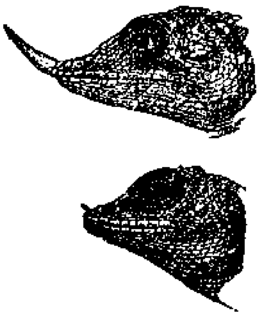


图 34　斯氏角蜥(*Cerato phora stoddartii*)

上图为雄者，下图为雌者。

黑、红三种色彩；但这等色彩只在求偶季节才有所表现。雌者没有这种附器，甚至连一点痕迹也没有。按照奥斯汀先生的材料，冠饰安乐蜥的雌者也有喉袋，呈艳红色并具黄色大理石花纹，尽管它是处于残迹状态的。再者，另外还有某些蜥蜴类，其雌雄二者都有同等发达的喉袋。在这里，我们看到了同上述许多事例一样的情况，

① 斯托里兹卡，《孟加拉亚细亚协会杂志》，第 35 卷，1870 年，166 页。

即，在属于同一类群的诸物种中，同一种性状，有的只限于雄者才有，有的在雄者方面远比在雌者方面发达，有的在雌雄两方面都同等发达。飞蜥属的小蜥蜴类借附于肋骨的膜伞在空中滑翔；其色彩之美丽实非语言所能形容，它的喉部具有皮质附器，"犹如鹑鸡类的垂肉"。当这种动物激动时，这等附器就会竖起。雌雄二者都有这等附器，然而它在雄者发育成熟时最为发达，这时，中央附器有时竟有头的两倍长。同样地，大多数物种沿着颈部也生有一条矮冠；完全成熟的雄者的这种矮冠比雌者的或幼小雄者的都发达得多①。

据说有一个中国的物种在春季成双成对地生活在一块，"要是有一只被捕获，另一只就会自树上坠至地面，泰然就擒"，——我推测这是出于绝望②。

某些蜥蜴类雌雄二者之间尚有其他更显著的差异。有一种角蜥，其雄者在吻端生有一种附器，长达头部的一半，圆柱状，复以鳞片，易弯，显然能竖立；但在雌者方面这等构造完全是残迹的。同属的第二个物种在其易弯的附器顶部有一个小角，是由一个末端鳞片形成的；而第三个物种斯氏角蜥(图 34)的整个附器已变成一支角，通常为白色，但当这种动物激动时，就会呈现带紫的色彩。后面这个物种的成熟雄者的这支角长达半英寸，但雌者和幼小雄者的这支角则十分小。这等附器，如京特博士对我说的，可同鹑鸡类的肉冠相比拟，而且显然是用作装饰的。

在避役属中，我们见到雌雄之间的差异已达到顶点。栖息于马达加斯加的雄性双角避役(图 35)在其头骨的上部生出两个坚硬的巨大骨质突起，就像头部其余部分那样地复以鳞片；这等构造上

① 以上有关龛蜥属，赛塔蜥蜴和飞蜥属的全部叙述和引文，以及下述有关角蜥属(*Ceratophora*)和避役属的事实，都引自京特博士本人的述说或其辉煌的著作《英属印度的爬行类》，雷蒙特协会，1864 年，122、130、135 页。

② 斯温赫先生，《动物学会会报》，1870 年，240 页。

的奇异改变在雌者方面仅显示一点痕迹而已。再者，非洲西海岸的欧氏避役（图 36），其雄者的吻部和前额生有三只奇异的角，而在雌者方面则连一点痕迹也没有。这种角是由一种骨的赘生物构成的，复以平滑的外鞘，外鞘乃躯体普通外皮的一部分，因而它们同公牛、山羊或其他具有鞘角的反刍动物的角在构造上是相同的。尽管这三只角和双角避役头骨上那两个巨大的延长物在外观上如此大不相同，但我们几乎无法怀疑它们在这两种动物的组织中都是

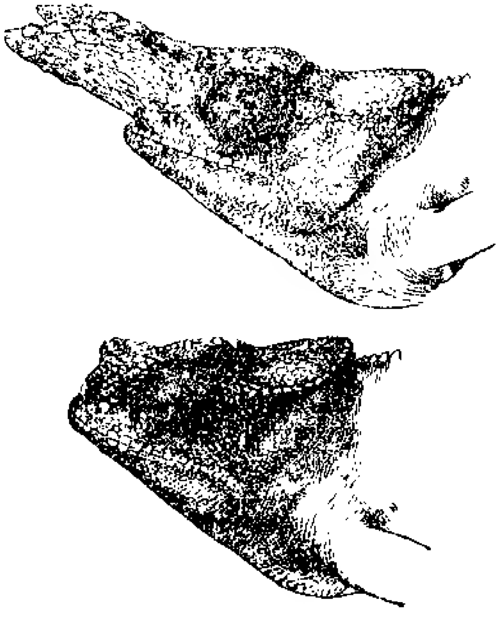


图 35　双角避役（*Chamaeleon bifurcus*）

上图为雄者；下图为雌者。

为着同一个总目的服务的。每个人所产生的第一种猜测将认为雄

者利用这种角互斗；由于这些动物很善于争斗[①]，因此这个观点也许是正确的。伍德先生也告诉我说，他有一次见到两只小避役在树枝上激烈撕斗；用头猛冲，彼此试图咬住对方，然后休息一会儿，接着又继续撕斗。

有许多蜥蜴类，其雌雄二者的颜色有轻微差异，雄者的色彩和

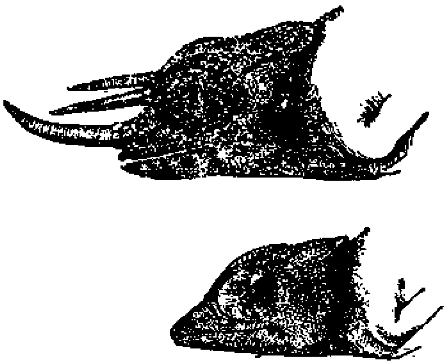


图 36 欧氏避役(*Chameleon owenii*)
上图：雄者；下图：雌者。

条纹比雌者的较为鲜明和轮廓较为清楚。例如，上述蜚蜥属和南非的棘趾蜥的情况就是如此。南非绳蜥属的雄者不是比雌者红得多就是绿得多。印度黑唇树蜥的雌雄差异还要大，雄者嘴唇为黑色而雌者嘴唇乃绿色。英国的普通胎生小蜥蜴"其雄者的躯体底面和尾基呈鲜橙色并具黑色斑点；雌者的这些部分则呈浅灰绿色而且无斑点。"[②] 我们已经知道塞塔蜥蜴只是雄者生有一个喉袋，并呈华

① 布肖尔茨(Bucholz)博士，《普鲁士科学院月刊》(*Monatsberichi K. Preuss. Akad.*)，1874 年 1 月，78 页。

② 贝尔，《英国爬行类志》，第 2 版，1849 年，40 页。

丽的蓝、黑、红三种色彩。智利的瘦蜥蜴只有雄者才呈现蓝色、绿色和红铜色的斑点[①]。在许多场合中，雄者全年都保持一样的色彩，但在另外一些场合中，雄者的色彩在生殖季节则变得鲜明的多；我再补充一个例子，即玛丽亚树蜥的雄者在生殖季节，其头部呈鲜红色，而躯体其余部分则为绿色[②]。

许多物种的雌雄二者，其美丽的色彩完全相似；把这等色彩设想为保护色是毫无理由的。关于那些生活于草木之中的鲜绿色种类，这样的颜色无疑是为着荫蔽它们自己而服务的；在巴塔戈尼亚[③] 北部，我见过斑点蜥蜴一受惊就伸平其躯体、闭上眼，于是凭其斑驳的色调几乎无法把它同周围的砂地分别开。不过，如此众多蜥蜴类所装饰的鲜艳色彩，以及它们所具有的各种奇异的附器，大概还是作为一种魅力先由雄者获得的，然后此等性状或只被传递给其雄性后代或被传递给其雌雄双方的后代。性选择对爬行类所起的作用确实就像对鸟类所起的作用那样，差不多是同等重要的；雌者的色彩不及雄者的显著，正如华莱士先生所相信的鸟类情况那样，是不能用雌鸟在孵卵期间面临着较大的危险来解释的。

① 关于瘦蜥蜴，见《"贝格尔"号舰航海中的动物学研究：爬行类》，贝尔先生著，8页。关于南非蜥蜴类，见《南非动物学：爬行类》，安德鲁·史密斯爵士著，25和39页。关于印度树蜥属，见《英属印度的爬行类》，京特博士著，143页。

② 京特，《动物学会会报》，1870年，778页，附彩色插图。

③ 位于南美阿根廷南部。——译注。

第十三章

鸟类的第二性征

性差异——斗争的法则——特殊武器——发声器官——器乐——爱情的滑稽表演和舞蹈——永久性和季节性的装饰物——一年两次和一年一次的换羽——雄者夸耀其装饰物。

鸟类的第二性征，同任何其他动物纲相比，也许不会引起其构造发生更重要的变化，但鸟类的第二性征却更加多种多样而且更加显著。因此，我将用相当长的篇幅来讨论这个问题。雄性鸟类有时也具有用于相斗的特殊武器，虽然这并不多见。它们用各种各样的声乐和器乐来魅惑雌鸟。从它们躯体的各个部分生出各种各样优美的肉冠、垂肉、隆起物、角、鼓气的囊、顶结、裸羽轴、羽衣以及修长的羽毛，用以装饰自己。它们的喙、头部周围的裸皮以及羽毛常常具有华丽的色彩。雄鸟有时靠舞蹈在地上或天空做出古怪的滑稽表演来表达它们的求爱。至少有一个事例表明雄鸟散发出一种麝香气味，我们可以设想这是用来魅惑或刺激雌鸟的；因为杰出的观察家拉姆塞(Ramsay)先生[1]说道，澳洲麝鸭"在夏季月份里散发这等气味的，只限于雄鸭，同时有些个体可以把这种气味保持全年；甚至在繁殖季节我也从未打下过一只具有任何麝香气味的雌鸭。"这种气味在交配季节是如此强烈，以致远在见到这种鸟类之

① 《采鹳》(*Ibis*)，第3卷(新辑)，1867年，414页。

前就可发觉这种气味了[①]。总之，鸟类大概是所有动物中的最善于审美者。这一点可从下述情况得到说明，即，我们喜爱倾听鸟类的鸣唱，我们的妇女，不论是文明的还是未开化的，都爱用鸟类羽毛来装饰头部。

当讨论我们这里所特别关切的性征以前，我想先略微谈一谈雌雄之间显然取决于不同生活习性的某些差异；因为这等情况在低等动物纲中虽是普通的，但在高等动物纲中却是罕见的。栖息于胡安·费尔南德兹群岛上的 *Eustephanus* 属的两种蜂鸟长期被人认为是不同的物种，现已弄清楚，正如古尔德先生告诉我的，它们原来是同一物种的雄者和雌者，二者在喙的形状上有轻微差异。在蜂鸟的另一个属中，雄者的喙缘为锯齿状，喙端为钩状，同雌者的喙大不相同。新西兰的新态鸟，正如我们已经见过的，其雌雄二者因取食方式的关系，喙的形状出现了更加广阔的差异。已经观察到金翅雀有某种类似的差异，因为詹纳·韦尔先生曾向我保证说，捕鸟人能根据其雄鸟的稍长的喙，而把它识别出来。常常发现成群的这种雄鸟吃起川续断的种子，它们的长喙可以啄到这些种子，而雌鸟更常吃的却是水苏或玄参属植物的种子。以这样一种轻微的差异为基础，我们可看到雌雄二者的喙如何通过性选择而形成巨大差异。然而，在上述某些场合中，雄鸟的喙最初发生变异可能同其他雄鸟进行斗争有关，而以后这又导致了生活习性的轻微变化。

争斗的法则

几乎所有的雄性鸟类都极其好斗，它们用喙、翅和腿互相争斗。每年春季我们可以看到英国的知更雀和麻雀就是如此。所有

① 古尔德《澳大利亚鸟类手册》(Handbook to the Birds of Australia)，1865 年，第 2 卷，383 页。

鸟类中体型最小的为蜂鸟，而它却是最好争吵的鸟类之一。戈斯先生[①]描述过雄蜂鸟的一次争斗，它们互相咬住对方的喙不放，在空中来回旋转，直到几乎落地；孟斯·德奥卡当谈到蜂鸟的另一属时说道，两只雄鸟如果在空中相遇很少不发生激烈冲突的；当把它们一块关进笼里时，"它们之间的战斗结果多半是其中之一的舌头被撕裂开，因而以后肯定因不能进食而死去。"[②]至于涉禽类，普通黑水鸡的雄鸟"在求偶时，为争夺雌鸟而激烈争斗：它们几乎直立水中，用脚互相踢打。"有人见过两只这种雄鸟如此争斗了半小时之久，直到其中一只抓住了另一只的头，要不是旁观者加以干涉的话，被抓住的那只雄鸟大概要被弄死；而雌鸟在这整个期间犹如一个安静的观众，站在一旁看热闹[③]。布赖茨先生告诉我说，有一种同鹬亲缘相近的鸟（凤头董鸡），其雄鸟大于雌鸟三分之一，它们在繁殖季节非常好斗，因而东孟加拉当地人把它们养起来，让它们相斗。在印度也饲养各种其他的鸟用于相同的目的，例如，红鹎就是"斗志昂扬地进行争斗"[④]。

多配性的流苏鹬（图 37）以其极端的好斗性而闻名；其雄鸟的体型大大超过雌鸟，它们在春季日复一日地聚集于某一特定的地点，也就是雌鸟打算产卵的地点。捕鸟人根据草皮被践踏得有点光秃的情况就可发现这种地点。雄鸟在这里撕斗，很像斗鸡那样，互相用喙啄住不放，彼此以翅相击。这时，颈部周围的长羽毛直竖，据蒙塔古上校说，"它像一面盾牌似地扫过地面，以保护躯体比较脆弱的部分"；关于鸟类的任何构造当作盾牌用的情况，这是我所知

① 古尔德先生引用，见《蜂鸟科导论》(Introduction to the Trochilidae)，1861 年，29 页。

② 古尔德，同上著作，52 页。

③ 汤普森，《爱尔兰博物志：鸟类》(Nat. Hist. of Ireland: Birds)，第 2 卷，1850 年，327 页。

④ 杰尔登，《印度鸟类》(Birds of India)，1863 年，第 2 卷，96 页。

道的唯一例子。就像大多数好斗的鸟类那样，它们似乎作好了随时战斗的准备，一旦把它们关在一起，就往往互相残杀；但蒙塔古观察到它们的好斗性在春季变得较强，这时其颈部长羽就充分发育了；而且在这期间，任何一只鸟的最小动作都会引起一场普遍的战争①。关于蹼足鸟类的好斗性，举出两个例子来说明就足够了：在圭亚那，"野麝鸭的雄者在繁殖季节就会发生血腥的战斗；凡发生过这等战斗的地方，河面上便有一段距离布满了羽毛②。"似乎不适于战斗的鸟类便进行激烈的冲突；例如，鹈鹕的较强雄者会把较弱者赶走，用其巨大的喙猛啄，以其翅膀进行沉重的打击。雄沙锥在互斗时，"用嘴以能想像的最奇妙方式又曳又推。"某些少数鸟类据信从不相斗；按照奥杜邦的材料，美国的金黄色啄木鸟就是如此，虽然"跟随这种雌鸟的追求者竟有半打之多。"③

许多鸟类的雄者都大于雌者，这无疑是许多世纪以来较大、较强壮的雄者在胜过其竞争对手方面占有优势的结果。有几个澳大利亚的物种，其雌雄二者在体型上的差异已达到了极端；例如，雄麝鸭和雄 *Cincloramphus cruralis*（同英国鹨的亲缘接近）经过实测各为其雌者的两倍大④。但也有许多鸟类，则是雌鸟大于雄鸟；如上所述，对这种现象提出的解释，常常认为是由于雌鸟在养育幼鸟方面承担了大部分工作，但这种解释是不够充分的。以后我们将会见到，在某些少数场合中，雌鸟显然是为了战胜其他雌鸟并占有雄鸟而获得其较大的体型和较强的体力。

许多鹑鸡类的雄者，尤其是一雄多雌的种类，都具有同其竞争

---

① 麦吉利夫雷，《英国鸟类志》(Hist. Brit. Birds)，第4卷，1852年，177—181页。

② 肖姆勃克爵士，《皇家地理学会学报》(*Journal of R. Geograph. Soc.*)，第13卷，1843年，31页。

③ 《鸟类志》(Ornithological Biography)，第1卷，191页。关于鹈鹕类和鹬类，见第3卷，138、477页。

④ 古尔德，《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，395页；第2卷，383页。

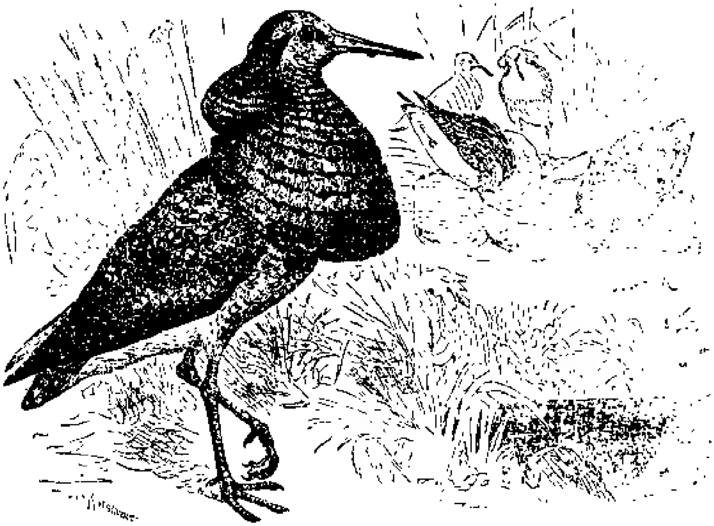


图 37 流苏鹬(*Machetes pugnax*)(采自布雷姆(Brehm)的《Thierleben》)

对手进行战斗的特殊武器，叫作距，使用这种武器能产生可怕的效果。一位可信赖的作者曾做过这样记载①：在德比郡有一只鸢袭击一只带着小鸡的雌斗鸡，这时，雄斗鸡飞奔来救，跃起一踢，用距准确地刺穿了侵略者的眼和头骨。把距从鸢的头骨中拔出是不容易的，而且鸢虽死了，仍牢牢地抓住对手不放，因而这两只鸟紧紧地联在一起了；但把雄斗鸡解脱出来之后，才知道它只不过受了点轻伤而已。雄斗鸡大无畏的勇气是有名的：有位先生很久以前曾目睹过下面的残酷景象，他告诉我说，有一只斗鸡因斗鸡场的某种事故

① 引自休伊特(Hewitt)先生，见《特戈梅尔的家禽手册》(Poultry Book by Tegetmeier)，1866 年，137 页。

而双腿折断了，它的主人打赌说，如果能把这只斗鸡的腿接好使它直立，它就会继续斗下去。结果骨折处被接好了，这只斗鸡又勇敢地投入战斗，直到它受到了致命的一击。在锡兰有一个亲缘相近的野生物种，名为斯氏原鸡，据知它们在“保卫其配偶”时进行殊死的战斗，因而常常发现斗者之一死于战斗之中①。一种印度石鸡的雄者具有坚固而锐利的距，它们如此喜欢争吵，以致“你所捕杀的几乎每只鸟的胸部都有以往战斗的累累伤痕。”②

几乎所有鹑鸡类的雄者，每当繁殖季节都进行猛烈的冲突，即使无距者亦复如此。松鸡和雄黑松鸡都是一雄多雌者，它们有约好的固定地点，群集于此，进行战斗并向雌鸟献媚达数周之久。柯瓦列夫斯基博士告诉我说，他在俄国曾经看到松鸡相斗过的场所，那里的雪全被血染红；当几只雄黑松鸡“进行一场大战之后”，也弄得羽毛四处飞扬。在德国，把雄黑松鸡求偶的歌舞称为巴尔兹，老勃列姆对此作过奇妙的记载。这种鸟几乎连续地发出最奇怪的叫声：“高举其尾，展开为扇，昂起头和颈，所有羽毛全都竖起，并展其双翅。然后它朝不同的方向跳跃几步，有时是绕圈跳跃，并用其喙的下部抵住地面，而且抵得如此用劲，以致颏部羽毛纷纷被磨掉。当做这些动作时，它拍击双翅，转了一圈又一圈。它的热情越高，就变得越活泼，直到最后这种鸟看来就像一个疯狂的动物。”在这样的时候，雄黑松鸡是如此精神贯注，以致几乎变得什么也看不见，什么也听不到了，但同雷鸡相比，还有逊色；因此可在同一地点一只接一只地把它们射杀，甚至可徒手把它们挨个捉住。雄鸟在做完这些滑稽表演之后就开始相斗：同一只雄黑松鸡为了证明其体力胜过若干敌手，要在一个清晨里走访几处巴尔兹舞场，而这等场所在

① 莱亚德，《博物学年刊杂志》，第14卷，1854年，63页。

② 杰尔登，《印度鸟类》，第3卷，574页。

连续数年内都是保持不变的①。

具有长尾羽的孔雀与其说它像个战士，不如说它更像个纨袴子弟，但它们有时也发生猛烈的冲突：福克斯牧师告诉我说，离切斯特不远的地方有两只相斗的孔雀变得如此激怒，以致它们飞越了整个城市仍在撕斗，直到它们降落在圣约翰塔顶上才算结束。

鹑鸡类所具有的距一般只是一腿一个；但多距的鸟类每只腿上则具有两个或两个以上的距；已经见过一种血雉的腿上有五个距。距一般只限于雄鸟才有，而在雌鸟腿上仅表现为小瘤，即残迹物；但爪哇绿孔雀的雌者以及布莱思先生告诉我的小型火背雉的雌者都有距。在鹑鸡属中，通常是雄鸡每只腿上有两个距而雌鸡只有一个距②。因此可以把距视为一种雄性构造，偶尔或多或少地传给了雌鸡。就像大多数其他第二性征那样，同一物种的距无论在数量上或发育程度上都是高度容易变异的。

各种各样的鸟类在其双翅上有距。但埃及鹅只有"光秃而不锐利的小瘤而已"，而这等小瘤大概向我们展示了在其他物种中发展起来的真距的最初步骤。具有翅距的鹅，即距翅鹅，其雄者的距比雌者的大得多；正如巴特利特先生告诉我的，它们用这等翅距进行争斗，因此在这种场合中，翅距是作为性的武器来用的；但按利文斯通的见解，它们主要是用来保卫幼者的。叫鸟(图 38)在每张翅上都有一对距；这是一种非常可怕的武器，据了解，只要用它一击就会把狗打得哀号而逃。但在这种场合或在某些具有翅距的秧鸡

① 布雷姆，《动物生活图解》，1867 年，第 4 卷，351 页。上述有些引自劳埃德，《瑞典的猎鸟》，1867 年，79 页。

② 杰尔登，《印度鸟类》，关于血雉属(*Ithaginis*)，见第 3 卷，523 页；关于鹑鸡属，见 541 页。

类的场合中，雄鸟的距并不见得比雌鸟的大①。然而，在某些鸻类中，必须把其翅距视为一种性征。例如，英国普通凤头麦鸡的雄者在繁殖季节其翅肩上的小结节变得更为突出，而且互相争斗。跳凫属的某些物种有一种相似的小结节在生殖季节就会发展成“一支短的角质距”。澳大利亚的裂跳凫的雌雄二者都有距，但雄者的距比雌者的大得多。与之亲缘相近的一种鸟，学名 *Hoplopterus armatus*，它的距在生殖季节并不增大；但在埃及曾见过这种鸟互相争斗，它们争斗的方式同英国田凫一样，在空中突然转向对方，从侧面互相攻击，时常会造成致命的后果。它们还这样把其他敌对者赶走②。

求偶的季节同时也是相斗的季节；但有些鸟类的雄者，如斗鸡和流苏鹬的雄者，甚至野火鸡和松鸡类的幼年雄者③，不论何时，只要一相遇就会发生争斗。雌鸟的在场是这等可怕的战争之根源。孟加拉的印度绅士们挑起梅花雀小而美的雄者进行斗争的方法是，把三个小鸟笼排成一行，中间那只鸟笼关的是一只雌鸟，两头各关着一只雄鸟，过一会儿把这两只雄鸟放开，它们就立即开始了一场殊死的战斗④。当许多雄鸟聚集在同一个约定的地点进行争斗时，就像松鸡类和其他种种鸟类的情况那样，一般都有雌鸟呆在

① 关于埃及鹅，参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类》，第 4 卷，639 页。关于距翅鹅（*Plectropterus*），见《利文斯通游记》(Livingstone's Travels)，254 页。关于叫鸟见勃列姆的《动物生活图解》，第 4 卷，740 页。关于这种鸟，再参阅阿沙拉的《南美游记》，第 4 卷，1809 年，179、253 页。

② 关于英国的凤头麦鸡，参阅卡尔(R. Carr)先生著述，见《陆和水》，1868 年 8 月 8 日，46 页。关于跳凫，见杰尔登的《印度鸟类》，第 3 卷，647 页，以及古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第 2 卷，220 页。关于 *Holopterus*，参阅艾伦先生著述，见《彩鹮》，第 5 卷，1863 年，156 页。

③ 奥杜邦，《鸟类志》第 2 卷，492 页，第 1 卷，4—13 页。

④ 布莱思先生，《陆和水》，1867 年，212 页。

旁边[①]，争斗结束后，她们就和胜利的斗士相配。但在某些场合中，交配是在争斗之前而不是在争斗之后进行的：例如，按照奥杜邦的材料[②]，弗吉尼亚夜鹰的若干雄鸟"以一种非常殷勤的方式向雌鸟求偶，当雌鸟刚一作出选择后就同意追击所有其他入侵者，并把它们赶出其领地之外。"雄鸟一般在交配前就试图把其竞争对手赶走或杀死。然而，看来雌鸟并不见得总是喜爱胜利的雄鸟。科瓦列夫斯基博士的确曾向我保证说，雌松鸡有时会携一只年轻的雄鸟私奔而去，后者是不敢同年长的雄鸟一块进入争斗场所的。

即使是最好斗的物种，其雌雄的交配也可能不完全取决于雄者单纯的体力和勇气；因这等雄者一般都有种种装饰物来打扮自己，这些装饰物在生殖季节往往变得更鲜艳，并殷勤地在雌者面前进行夸示。雄者还用爱情的呼叫、鸣唱和滑稽表演来尽力献媚或刺激雌者，这种求爱在许多场合中是一种费时甚久的事。因此，雌者对异性的媚惑大概既不是无动于衷，也不总是被迫顺从胜利的雄者。更加可能的是，在雄者冲突之前或以后，雌者受到了一定雄者的刺激而不知不觉地爱上了它们。关于伞松鸡，一位杰出的观察家[③]甚至相信其雄者的相斗"完全是假装的，它们的表演是为了向集合于雄者周围而表示赞美的雌者显示其最大的优越性；因为我从来没有找到过一只受了伤的鸟，折断的羽毛都很少超过一支"。以后我还要重新来讨论这个问题，但我愿在这里补充一点：关于美国的一种狂热松鸡，约有 20 只雄者集合于一特定地点，大摇大摆

① 见理查森(Richardson)关于伞松鸡(*Tetrao umbellus*)的著述，见《美国边境地区动物志：鸟类》(Fauna Bor. Amer. Birds)，1831 年，343 页。关于雷鸟和雄黑松鸡，见劳埃德的《瑞典猎鸟》，1867 年，22、79 页。然而，布雷姆认为(《动物生活图解》等，第 4 卷，352 页)德国的雌灰色松鸡一般不光临雄黑色松鸡的巴尔兹舞场，但这是普遍规律的一个例外；可能雌松鸡隐藏于周围灌木丛中，如同斯堪的纳维亚的雌灰色松鸡的情况以及北美洲其他物种的情况那样。

② 《鸟类志》第 2 卷，275 页。

③ 《陆和水》，1868 年 7 月 25 日，14 页。

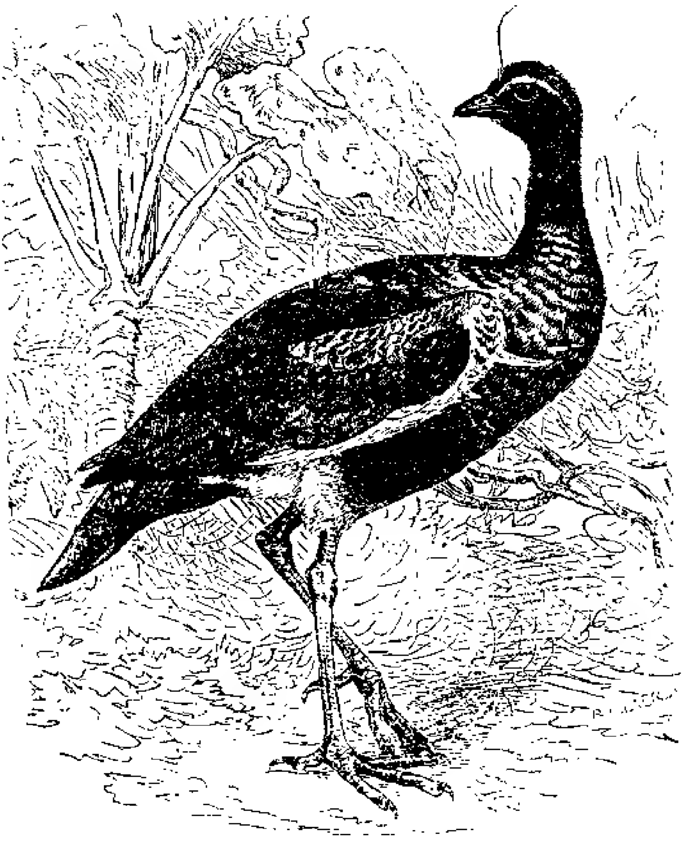


图 38 角叫鸟(*Palamedea cornuta*)(采自布雷姆),
图示其双翅距,以及头顶的丝状物

地走来走去,空中到处回响着其喧器声。当从一只雌者得到第一个

响应后，雄者便投入了猛烈的相斗，结果是弱者败走了；但这时，据奥杜邦说，胜败双方都寻求雌者，因此，雌者必须立即作出选择，否则争斗必定还要重新发生。再者，美国有一种草地鹨，其雄者激烈相斗，“但一见到雌者，就疯狂般地全都随着它飞去。[①]

声乐和器乐

鸟类的鸣声是用以表达其种种感情的，诸如痛苦、恐惧、愤怒，胜利或单纯的欢乐。有时它显然是用以激起恐怖，如某些雏鸟所发出的嘶嘶叫声。奥杜邦说[②]，他所驯养的一只夜鹭常常在一只猫来近时躲藏起来，然后“突然跳起，发出一种最可怕的叫声，显然以猫之惊慌逃走为乐。”普通家养公鸡找到一口好吃的食物时就会咯咯地召唤母鸡，母鸡又会咯咯地召唤其小鸡。母鸡下蛋时，“频频地重复同一种叫声，以高于六度音程而截止，最后这声调持续较久”[③]；以此来表达其欢乐。有些群居性的鸟类显然是为了寻求帮助而互相呼唤；当它们从这棵树飞往那棵树时，就靠着嘁嘁喳喳的叫声互相呼应而保持鸟群的完整。在鹅类和其他水禽类夜徙的期间，我们可以听到夜空中带头鸟所发出的响亮鸣叫和后继者相呼应的鸣叫声。某种鸣叫声是作为危险信号发出的，猎入懂得这种信号所给他带来的损失，而且这种信号能为同一种鸟和其他种鸟所理解。战胜其竞争对手之后，家公鸡便引颈长鸣，公蜂鸟也嘁嘁喳喳地鸣叫起来。然而，大多数鸟类主要是在繁殖季节才发出真正的鸣唱以及种种奇特的叫声，这是用以献媚异性，或仅仅是用以召唤异性的。

关于鸟类鸣唱的目的，博物学者们的看法有很大分歧。蒙塔古

---

① 奥杜邦，《鸟类志》，关于狂热松鸡，见第2卷，492页；关于椋鸟属（*Sturnus*），见第2卷，219页。

② 《鸟类志》，第5卷，601页。

③ 戴恩斯·巴林顿，《自然科学学报》，1773年，252页。

堪称最精细的观察者，但他主张"鸣禽类和许多其他鸟类的雄者一般并不寻求雌者，而正好相反，它们在春季的事务都是停息于某一显眼的地点，纵声唱出其多情的音调；对此，雌者依其本能自能领会并前往该地择其配偶。"[①] 詹纳·韦尔先生告诉我说，夜莺的情况肯定如此。毕生从事养鸟的贝奇斯坦断言，"雌金丝雀总是选择最善于鸣唱的雄鸟，雌燕雀在自然状态下也是百里挑一地去选择最使它感到高兴的那些善于鸣唱的雄鸟。"[②]毫无疑问，鸟类非常注意彼此的鸣唱。韦尔先生曾向我说过一个例子；有一只红腹灰雀被教会了鸣唱一支德国圆舞曲，它演奏得那么好，以致它的身价竟达十个吉尼[③]；当这只鸟首次被放进一间养着其他鸟类的屋内并开始鸣唱时，所有其他鸟类，约为 20 只红雀和金丝雀，都排列在各自鸟笼里最靠近它的一边，以最大的兴趣倾听这个新来客的演奏。许多博物学者都相信鸟类的鸣唱几乎完全是敌对和竞赛所引起的结果，并非为了向其配偶献媚。这就是戴恩斯·巴林顿和塞尔伯温的怀特的见解，他们对这个问题都有特别的研究[④]。然而，巴林顿承认，"鸟类的善于鸣唱者比其他鸟类占有无比的优势，这是捕鸟人所熟知的。"

雄鸟之间在鸣唱方面肯定有激烈的竞争。玩鸟的人比赛他们所养的鸟，看哪只鸟鸣唱的时间最长，雅列尔先生告诉我说，第一流的鸟有时会一直鸣叫到坠落在地而几乎死去，或按贝西斯坦的说法[⑤]，因肺部一条血管破裂而完全死去。不管其原因可能是什

---

① 《鸟类学辞典》(Ornithological Dictionary)，1833 年，475 页。

② 《笼鸟志》(Naturgeschichte der Stubenvögel)，1840 年，4 页。哈里森·韦尔先生同样写信对我说："我听说养在同一鸟舍里的最善于鸣唱的雄鸟，一般会首先获得一个配偶。"

③ 英国以往的金币名，合现在 21 先令。——译注

④ 《自然科学学报》，1773 年，263 页。怀特的《塞尔本博物志》(Natural History of Selborne)，1825 年，第 1 卷，246 页。

⑤ 《笼鸟志》，1840 年，252 页。

么，正如韦尔先生对我说的，雄性鸟类在鸣唱季节往往会突然死去。鸣唱的习性有时显然同爱情完全无关，因为有人曾描写过一只不育的杂种金丝雀① 在镜子里见到自己形象时就鸣唱起来了，随后就向自己形象猛扑过去；把它和一只雌金丝雀关在同一个笼子时，它同样向雌鸟愤怒地进行攻击。由鸣唱行为所激起的妒嫉性经常被捕鸟人所利用；把一只唱得好的雄鸟隐藏起来并加以保护，同时把一个剥制的鸟暴露在视线之内，并在其周围放置涂上粘鸟胶的小枝。正如韦尔先生告诉我的，有一个人用这种方法在一天之内所捉到的雄性欧洲苍头燕雀就有 50 只之多，另一次则高达 70 只。

雄性鸟类因竞争而鸣唱，也因献媚雌者而鸣唱，二者完全不矛盾；也许可以期待这两种习性会同时发生作用，就像夸示本身之美和好斗那两种习性同时发生作用一样。然而，某些作者争辩说，雄鸟的鸣唱不能用以迷惑雌鸟，因为某些少数物种，诸如金丝雀、知更雀、百灵鸟和欧洲苍头燕雀的雌者，尤其当它们处于寡居的状态时，正如贝西斯坦所说的，都会纵声唱出委婉动听的曲调。在某些这等事例中，鸣唱的习性可以部分地归因于雌鸟所受到的高度喂养和被圈禁②，因为这就扰乱了同物种繁殖有关的一切正常功能。关于雄鸟的第二性征部分地传递给雌鸟，已举出过许多事例，因而某些物种的雌鸟具有鸣唱的能力就完全不足为奇了。还有人争辩说，雄鸟的鸣唱不是作为一种媚惑，因为某些物种的雄鸟，例如知更雀，在秋季也鸣唱③。动物为了某种真实的利益在某一时期所遵循的无论什么本能，在另一时期还会以实践这种本能为乐，这是最常见的事。我们不是多么经常地见到飞行自如的鸟类显然由于取

① 博尔德(Bold)，《动物学者》(Zoologist)，1843—1944 年，659 页。

② D. 巴林顿，《自然科学学报》，1773 年，262 页；贝奇斯坦(Bechstein)，《笼鸟》(Stubenvögel)1840 年，4 页。

③ 河鸟(water-ouzel)的情况也是如此，参阅赫伯恩(Hepburn)先生著述，见《动物学者》，1845—1846 年，1068 页。

乐而在空中滑行和翱翔吗？猫戏弄捕得的鼠，鸬鹚戏弄捕得的鱼。织布鸟被关进笼里时，仍在鸟笼的铁丝柱之间灵巧地编织草叶而自娱。习惯于在生殖季节相斗的鸟类一般在所有时期都准备进行战斗；雄雷鸟有时在秋季也会在它们通常集会的场所举行其巴尔岑或勒克斯舞会①。因此，雄性鸟类在求偶季节过后还继续鸣唱以自娱，就完全不足为奇了。

正如前章所阐明的，鸣唱在某种程度上是一种艺术，而且通过实践会大大提高。鸟类可被教会鸣唱各种不同的曲调，即使叫得难听的麻雀也曾学会像一只红雀那样地鸣唱。它们可学得养父养母的歌声②，有时也可学得邻居的歌声③。所有普通的鸣禽都属于燕雀类这一目，它们的发音器官要比大多数其他鸟类的发音器官复杂得多；但也存在一个奇特的事实，即，某些燕雀，诸如渡鸦、乌鸦和喜鹊，虽然从来不鸣唱，自然也不会发出抑扬的音调，但它们都具有这种正规的发音器官④。亨特断言⑤，关于真正的鸣禽，其雄鸟的喉肌都比雌鸟的更为强有力；但除这点轻微的差异外，雌雄二者的发声器官并无任何差别，尽管大多数物种的雄鸟鸣唱起来要比雌鸟好听得多，持续时间也长。

值得注意的是，彻底善于鸣唱者皆为小形鸟。然而澳洲的琴鸟属必须除外；因为，像半成熟火鸡那样大小的阿氏琴鸟不仅模仿其他鸟类鸣叫，而且"它自己的啭鸣声也极其美妙而富有变化。"其雄鸟集合起来组成"科罗伯瑞舞场(corroborying places)⑥"，它们像

---

① L. 劳埃德《瑞典的猎鸟》，1867 年，25 页。

② 巴林顿，同上著作，264 页；贝奇斯坦，同上著作，5 页。

③ 马尔(Malle)举出一个奇妙的事例，表明在他的花园内有些野生乌鸫从一只笼鸟那里自然学会了一曲共和国的歌调。(《自然科学年刊》，第 3 辑，动物学部分，第 10 卷，118 页)

④ 毕肖普，《托德的解剖学和生理学全书》，第 4 卷，1496 页。

⑤ 如巴林顿在《自然科学学报》(1773 年，262 页)上所记述的。

⑥ crroboree 系澳洲土著庆祝胜利舞蹈晚会。——译注

在那里鸣唱，像孔雀那样地高举并展开其尾羽，同时双翅下垂①。同样值得注意的是，善于鸣唱的鸟类很少具有鲜艳的色彩或其他装饰物。以我们英国的鸟类来说，欧洲苍头燕雀和金翅雀除外，最善于鸣唱的都是色彩平淡的。鱼狗、蜂虎、德国佛法僧、戴胜啄木鸟等都发出刺耳的叫声；并且色彩鲜艳的热带鸟类几乎都不是善于鸣唱者②。因此，鲜明的色彩和鸣唱的能力似乎是可以互相取代的。我们可以看到如果羽衣色彩不变得鲜明，或者鲜明的色彩危及物种的生存，那么就可能采用其他手段来媚惑雌鸟；而悦耳的音调就提供了这样的手段。

某些鸟类雌雄二者的发音器官差异很大。狂热松鸡（图 39）的雄者在其颈部两侧各有一个无毛的橙色囊；这种囊在繁殖季节即行膨大，此时雄鸟便发出奇妙的空洞叫声，在相当的距离以外都可听到。奥杜邦证实说，这种叫声同这等器官密切关联（这使我们回想起某些雄蛙在嘴的两侧各有一个气囊），因为他发现如果一只驯养的这种鸟的一个囊被刺破，其叫声就大大减弱，如果两个囊都被刺破，则叫声就完全丧失。雌鸟的“颈部也有一块多少相似的、虽然稍微小一些的裸皮；但它不能膨胀。”③ 另一种细嘴松鸡的雄者向雌者求爱时，其“黄色的无毛食管膨胀得非常之大，足有其躯体的一半”；于是它发出各种嘎嘎的、深沉而空洞的声调。是时颈羽竖起，双翼低垂，跑来跑去，其长而尖的尾羽展开有如一把扇子，表现

---

① 古尔德，《澳大利亚鸟类手册》，第 1 卷，1865 年，308－310 页；再参阅伍德先生在《学生》杂志（*Student*，1870 年 4 月，125 页）上的记述。

② 参阅古尔德的《蜂鸟科导论》，1861 年，22 页，有关这一效果的记述。

③ 《加拿大的猎人和博物学者》（The Sportsman and Naturalist in Canada）罗斯·金（W. Ross King）少校著，1866 年，144—146 页。伍德先生在《学生》杂志（1870 年 4 月，第 116 页）上对这种鸟在求偶季节的姿态和习性作过最好的记载。他说道，其耳簇毛或颈羽都竖起来了，因而在头冠上面相遇。参阅他的绘图，图 39。

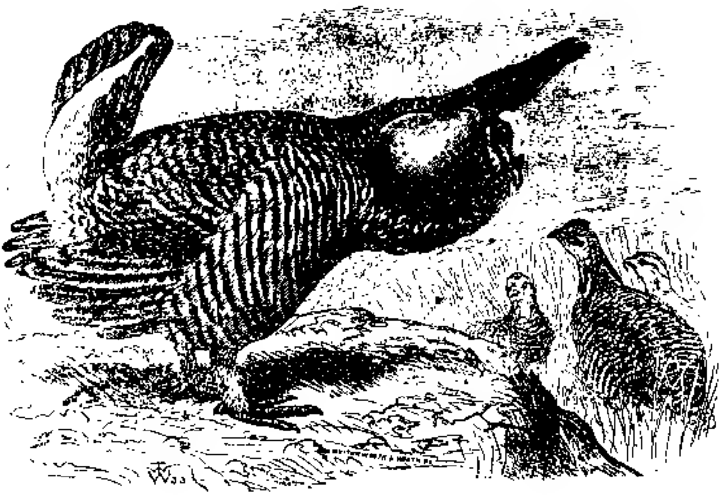


图 39 狂热松鸡(*Tetrao cupido*)雄者(采自伍德)

了种种奇形怪状。而这种雌鸟的食管则无任何值得注意的地方①。

现在似乎已弄清楚,欧洲雄性大鸨,至少还有其他四个物种的雄鸟,它们的大喉袋并非以前所设想的那样用以存水,而是同繁殖季节中所发出的那种类似"瞿克"的特殊叫声有关系②。一种栖息于南美的形似乌鸦的伞鸟(图 40)以其覆盖了整个头部的巨大顶结而得名,这种顶结是由羽毛形成的,羽根呈白色,裸露无毛,其顶

① 理查逊,《美国边境地区动物志:鸟类》,1831 年,359 页。奥杜邦,同前著作,第 4 卷,507 页。

② 关于这个问题最近发表的文章有:A. 牛顿教授,见《彩鹮》(*Ibis*)1862 年,107 页;卡伦(Cullen)博士,同前著作,1865 年,145 页;弗劳尔先生,见《动物学会会报》,1865 年,747 页;以及默里博士,见《动物学会会报》,1868 年,471 页。后面这篇论文中有一幅绘图示明,一只雄澳洲鸨充分夸示其膨胀起来的喉囊。并非同一物种的所有雄者都有这种发达的喉囊,却是一个奇特的事实。

端则生有暗蓝色的羽毛，它们竖起来便形成直径不下于五英寸的一个大圆顶。这种鸟的颈部有一条长而细的圆筒状肉质附器，其上厚厚地被覆着一层鳞片状的羽毛。它大概一部分用为装饰物，同时也用为一种回声器；因为贝茨先生发现它“同气管和发音器官的异常发育”有关系。当这种雄鸟发出那种独特的深沉、高昂而持久的嘹亮声调时，肉质附器就膨胀起来了。而雌鸟的羽冠和颈部附器则处于残迹状态①。

各种蹼足鸟类和涉禽类的发音器官极为复杂，且在雌雄二者有一定程度的差异。在某些场合中，气管是盘旋的，像支弯管乐号，且深深嵌入胸骨内。关于野天鹅，其成熟雄者气管所嵌入的程度比成熟雌者和幼年雄者更深。雄秋沙鸭的气管扩大部分具有一对附加的肌肉②。然而，有一种叫作斑点鸭的，其雄者的骨质扩大部分仅比雌者的稍微发达一点③。但鸭科雌雄二者在气管方面的这等差异，其意义何在，尚属不明；因为雄鸭并不总是喧叫得更凶；例如，普通家鸭，其雄者不过是嘶嘶地叫，而雌者却大声嘎嘎地叫④。有一种小鹤，其雌雄二者的气管均深陷胸骨中，但表现了“某种性别变化”。雄黑鹳在支气管的长度和弯曲度两方面都表现了十分显著的性差异⑤。因此，在这等场合中，如此高度重要的构造也因性别而发生了变异。

① 贝茨，《亚马孙河流域的博物学家》，1863年，第2卷，284页；华莱士，《动物学会会报》，1850年，206页。最近发现一个新的伞鸟物种(*C. penduliger*)，它的颈部附器还要大些，见《采鹳》，第1卷，457页。

② 毕肖著，见《托德的解剖学和生理学全书》，第4卷，1499页。

③ 牛顿教授，《动物学会会报》，1871年，651页。

④ 琵鹭(*Platalea*)的气管盘旋成8字形，虽然这种鸟(杰尔登，《印度鸟类》，第3卷，763页)是不会叫的；但布莱思先生告诉我说，气管的这样盘旋并非经常出现，所以它们正趋向发育不全。

⑤ 《比较解剖学原理》(Elements of Comp. Anat.)R. 瓦格纳(Wagner)著，英译本，1845年，111页。上述有关鹅的情况，见雅列尔的《英国鸟类志》，第2版，1845年，第3卷，193页。

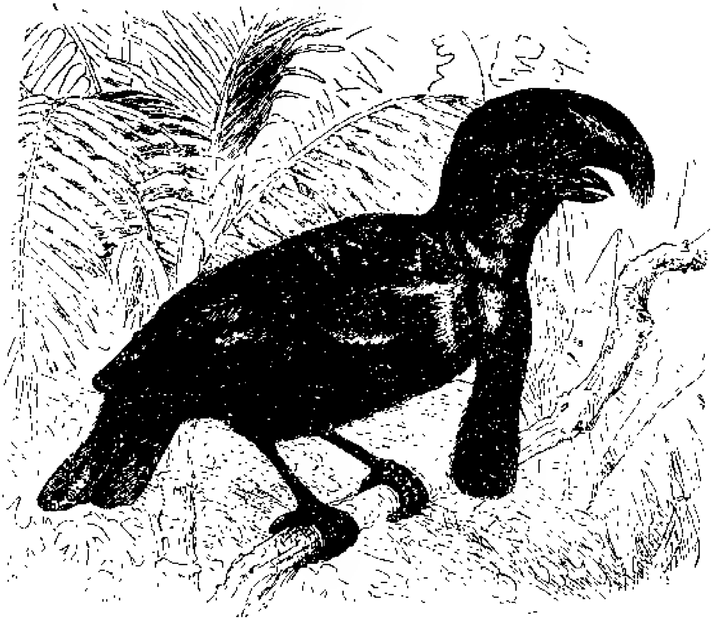


图 40　伞鸟(*Cephalopterus ornatus*)的雄者(采自布雷姆)

雄性鸟类在繁殖季节所发出的许多奇妙的叫声和音调，究竟是用以媚惑雌鸟，或仅仅作为一种召唤，是难于猜测的。或可假定，鸠和许多鸽类的柔和鸪鸪叫声是取悦雌者。雌野火鸡在早晨鸣叫时，雄鸡则答以一种不同于咯咯叫声的音调，同时竖起羽毛，沙沙地抖动翅膀鼓起垂肉，并在雌鸡面前高视阔步并噗噗喷气[1]。雄黑松鸡的鸟语肯定是用以召唤雌者的，因为，据知一只关在笼中的雄者曾用这种鸟语把四五只雌者从远处召来。但是，由于雄黑松鸡连

① 波那帕特(C. L. Bonaparte)，在《博物学者丛书：鸟类》(Naturalist library: Birds)，第 6 卷，126 页。

续做此鸟语达数小时并持续数日不断，并且在雷鸟的场合中还“伴以炽烈的激情”，因此这就使我们设想那些光临的雌者是这样被迷生了[①]。据知，普通秃鼻乌鸦的叫声到繁殖季节就会改变，所以从某一方面来看这是性的变化[②]。然而关于那种刺耳的尖叫声，如某些种类的金刚鹦鹉的叫声，我们又该怎样说呢；这些鸟类的不善于欣赏音乐声调是否就像它们不善于欣赏色彩那样呢？根据它们的羽毛呈鲜黄色和蓝色这种不协调的颜色对比，可以判断它们欣赏色彩的能力是低的。从这样叫声可能不会获得任何利益。许多雄鸟的高声鸣叫可能是由于它们当受到强烈的爱情、嫉妒和愤怒等感情的刺激时连续使用其发音器官所造成的；关于这一点，在我们讨论四足兽时还要谈到。

到目前为止，我们所谈论的仅仅是鸟类的声乐，而各种鸟类的雄者在其求偶期间所发出的鸣叫似可称之为器乐。孔雀和极乐鸟收拢其羽根，格格作响。雄火鸡以翼擦地，发出沙沙响声，松鸡的某些种类也这样发声。另一种北美松鸡，叫伞松鸡当它将尾羽竖起时，其颈羽即行张开，“向藏在附近的雌鸟夸耀其美”，按照海蒙德先生的材料，这时它用双翼急击其背而发出鼓声，并非像奥杜邦所想的是以双翼击其躯体两侧。这样发出的声音，有些人把它比做远方的雷声，另外有些人则把它比作快速擂鼓之声。雌鸟从不发出这样鼓声，“但她径直飞往雄鸟发出这种声音的场所。”喜马拉雅山的黑鹇的雄者，“常常以其双翅发出一种独特的鼓声，就像摇动一张僵硬的布块所产生的那种声音。”非洲西海岸的小形黑色织布鸟(*Ploceus*?)常常小群地在围绕一小块空地的灌林丛中聚会，又是鸣唱，又是以其抖动着的双翅在空中滑翔，“这样弄出来的一种急速转动的呼呼声犹如一个小孩喋喋不休的语声。”一只鸟跟着一只鸟

① 劳埃德，《瑞典的猎鸟》，1867年，22，81页。
② 詹纳，《自然科学学报》，1824年，第20页。

这样地进行表演，达数小时之久，但这种情况仅仅在求偶季节才发生。某些欧夜鹰属的雄者只在这个季节（而不是在另外时候），才用其双翅奏出一种奇特的隆隆声。啄木鸟的各个物种用喙敲击树枝而发出一种响亮的声音，敲击时头部的往复动作是如此迅速，以致“在一瞬间它的头好像是在两处。”这样发出的声音可在相当远的地方听到，但无法被描写出来；而且我可以肯定，任何人首次听到这种声音时，都不会猜出它的声源在何处。由于这种刺耳的声响主要是在生殖季节发出的，因而它被认为是一种爱情之歌；但更严格地说，这也许是一种爱情的呼唤。当把雌鸟从巢里赶出来时，曾经观察到雌鸟就这样呼唤其配偶，后者以同样方式应答并很快出现在雌鸟的面前。最后，雄戴胜会把声乐和器乐结合起来：因为，正如斯文赫先生所观察的，在生殖季节，这种鸟先吸进空气，然后用喙端垂直地在一块石头或一棵树干上轻轻敲击，“这时使劲地把气从其管状喙呼出，于是就产生了正确的声音。”如果不用喙敲击某些物体，所发出的声音就完全不一样。同时吸进空气，食管也因而大为膨胀，这大概起了一个回声器的作用，不仅戴胜如此，鸽类和其他鸟类也都如此①。

上述事例所表明的是，声音的产生系借助于早已存在的而且在其他方面所必须的构造；但下述事例所表明的却是，某些羽毛乃

① 上述事实有关极乐鸟类的，参阅布雷姆的《动物生活图解》，第 3 卷，325 页。有关松鸡类的参阅理查逊的《美国边境地区动物志：鸟类》，343 和 359 页；罗斯·金少校的《加拿大的猎人》，1866 年，156 页；海蒙德先生，见柯克斯（Cox）教授的《印第安纳的地质调查》（Geol. Survey of Indiana），227 页；奥杜邦，《美国鸟类志》，第 1 卷，216 页。关于黑鹇，参阅杰尔登的《印度鸟类》，第 3 卷，533 页。关于织布鸟（weavers），参阅利文斯通的《赞比西探险记》（Expedition to the Zambesi），1865 年，425 页。关于啄木鸟类，参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 3 卷，1840 年，84、88、89、95 页。关于戴胜，参阅斯文赫先生的记述，见《动物学会学报》，1863 年 6 月 23 日和 1871 年，348 页。关于夜鹰，参阅奥杜邦的上述著作，第 2 卷，255 页。以及《美国博物学者》，1873 年，672 页。英国夜鹰在春天快速飞行时也同样发出一种奇妙的响声。

是为了发声的特殊目的而发生变异的。普通丘鹬所发出的鼓声、羊叫声、马嘶声或雷鸣声(不同的观察家对此有不同的表达),无论何人听到,都一定要感到惊奇。这种鸟在交配季节飞到"也许高达1000英尺的天空",弯弯曲曲地飞了一会儿之后,就展开尾羽,抖动着双翼,以惊人的速度沿着一条曲线降落地面。只有在这样快速降落时它才能发出这种响声。这样发声的原因,在梅味斯以前没有一个人能加以说明,直到梅味斯才观察到:其尾部两边的外侧羽毛具有特殊的构造(图41),羽轴坚硬,呈马刀形,羽轴上的斜羽枝极长,羽枝外侧的短毛紧紧结合在一起。他发现如果吹动这些羽毛、或把它们绑牢在一条长而细小棍上,迅速在空中挥动,就可重现这种活鸟所发生的那样鼓声。其雌雄二者都具有这种羽毛,但雄者的一般要比雌者的大些并发出一种更为深沉的声调。某些物种,如马缰丘鹬,其尾部两侧各有四支羽毛大大变异了(图42),而小哇丘鹬尾部两侧大大变异了的这种羽毛(图43)则不少于八支。把不同物种的这等羽毛在空中挥动时,就发出不同的音调;美国的韦氏丘鹬当快速向地面降落时所发的声音有如挥鞭①。

图41 普通丘鹬(*Scolopax gallinago*)的外侧尾羽
(采自《动物学会会报》,1858年)

美洲所产的鹑鸡类一种大型鸟,叫作单色镰翅冠雉的,其雄者

① 参阅梅费斯的有趣论文,见《动物学会学报》,1858年,199页。关于丘鹬的习性,参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》,第4卷,371页。关于美国的丘鹬,参阅布莱基斯顿(Blakiston)的记述,见《彩鹮》,第5卷,1863年,131页。

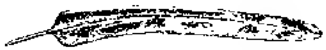


图 42　马缰丘鹬(*Scolopax frenata*)的外尾羽

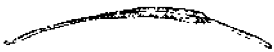


图 43　爪哇丘鹬(*Scolopax javensis*)的外尾羽

图 44　亮羽蜂鸟(*Selasphorus platycercus*)(采自沙尔文先生的绘图)的初级翼羽
上图为雄鸟的；下图为雌鸟的。

的第一初级翼羽顶端弯曲，而且远比雌者的为细。有一种与之亲缘相近的鸟，学名 *Penelope nigra*，沙尔文先生观察到一只这种雄鸟在往下飞时"展开双翼，发出一种冲击折裂之声"，犹如一棵树倾倒的声音一般①。印度的耳鸨只有雄者的初级翼羽才大大变尖；据知有一个与之亲缘相近的物种，其雄者当追求雌者时会发出一种嗡嗡之声②。在鸟类的一个大不相同的类群中，即蜂鸟，某些种类只有雄者的初级翼羽的羽轴膨大甚阔，或其羽枝在近尖端处陡然削细。例如亮羽蜂鸟，这种蜂鸟的雄者到成年时，其初级翼羽的顶端就这样削细(图 44)。它在花丛中飞来飞去时发出"一种尖锐的几

① 沙尔文先生，《动物学会学报》，1867 年，160 页。我非常感谢这位著名的鸟类学家所提供的镰翅冠雉(*Chamaepetes*)的羽毛草图以及其他资料。

② 杰尔登，《印度鸟类》，第 3 卷，618、621 页。

乎同口哨一样的声音；”① 但沙尔文先生并不认为这种声音是有意发出的。

最后，美洲产燕雀类小鸟（*Pipra* 或 *Manakin*）的一个亚属的几个物种，正如斯克莱特先生所描述的，其雄者的次级翼羽以更加显著的方式发生了变异。色彩鲜艳的 *P. deliciosa*，有三支第一次级翼羽的羽茎变粗，且向体部弯曲；第四和第五支次级翼羽（图 45，a）的变化还要更大些；而第六和第七支次级翼羽（b，c）的羽轴则“加粗到异常的程度并形成一个坚固的角质块。”羽枝的形状同雌鸟的相应羽枝（d，e，f）相比，也大大改变了。甚至支撑着这些独特羽毛的翼骨，据弗雷泽说，在雄鸟方面也要粗得多。这种小型鸟类发出一种异常的声响，其头一个“尖锐的声调就像抽鞭子那样的噼啪声。”②

许多鸟类的雄者在生殖季节所发出的声乐和器乐声音的多样性，以及发出这些声音的方法的多样性，都是高度值得注意的。这样，我们对于它们在性的用途上的重要性便提高了认识，并可由此可以回忆到从昆虫类所得出的结论。不难想象鸟类发声所经历的步骤有如下述：它们的声调最初仅仅是作为一种召唤或用于某种其他目的，继而可能改进成为一种有旋律的爱情歌唱。在鸟类用变形的羽毛发出鼓声、口哨声或轰鸣声的场合中，我们知道有些鸟类在求偶期间会拍击、抖动其未变形的羽毛或使它们嘎啦嘎啦地作响；如果雌鸟被引导去选择那些最佳的表演者，那么在躯体任何部分具有最坚固或最厚密或最尖细的羽毛的那些雄鸟大概是最能成功的；这样，其羽毛大概就会以缓慢的程度发生几乎任何程度的改变。当然，雌鸟不会注意到其形状的每个细微的连续改变，而只是

① 古尔德，《蜂鸟科导论》，1861 年，49 页；沙尔文，《动物学会会报》，1867 年，160 页。

② 斯克莱特《动物学会会报》，1860 年，90 页；《彩鹳》，第 4 卷，1862 年，175 页，还有沙尔文的著述，见《采鹳》，1860 年，37 页。

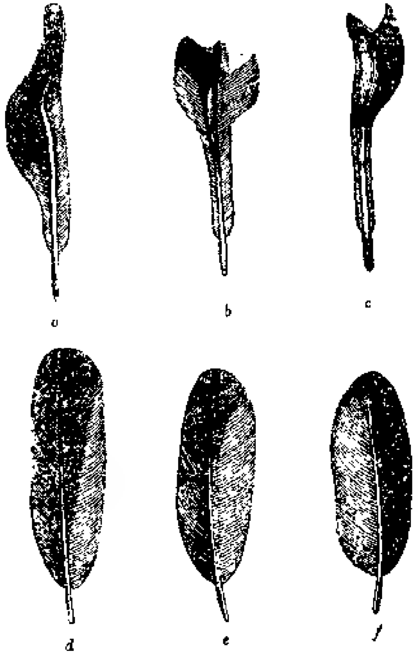


图 45　*Pipra deliciosa* 的次级翅羽(采自斯克莱特先生,见《动物学会会报》,1860 年)。上面三根羽毛 a,b,c 系采自雄者;下面三根相应的羽毛 d,e,f,系采自雌者。a 和 d,为雄者和雌者第五次级翅羽的上表面。b 和 e,为第六次级翅羽的上表面。c 和 f,为第七次级翅羽的下表面。

注意到由此所产生的声音。奇怪的是,在这同一个动物纲中,其声音是如此不同,诸如鹬的尾巴所发出的鼓声,啄木鸟的喙所发出的笃笃轻敲声,某些水禽粗里粗气的类似喇叭的叫声,斑鸠的咕咕声,以及夜莺的歌唱,却全会取悦于若干物种的雌鸟。但我们决不能用一个一致的标准去衡量不同物种的欣赏能力;而且也不能用

人类的欣赏标准去做这种衡量。我们应该记住，即使对人类来说，有些不协调的声音，如铜锣的锣声和芦笛的刺耳声，都会使未开化人感到悦耳动听。贝克爵士对此有过描述①。

求爱的滑稽表演和舞蹈

有些鸟类的奇特求爱姿态已经顺便提到过了；因此在这里不需多加补充。在北美有一种松鸡叫作尖尾松鸡，在生殖季节的每天早晨，它们成群地在某个选中的平坦地点相会，沿着直径约 15 或 20 英尺的圆圈，一圈又一圈地奔跑，因而地面被踩得光秃秃的，犹如一个仙环（蘑菇圈）②。猎人称此为石鸡舞，在这等鸟舞中，鸟类表现了最奇特的姿态，它们跑圆圈，有的向左，有的向右。奥杜邦描述过一种苍鹭的雄者，它们在雌者面前迈着长腿非常威严地走来走去，显示着对其他竞争对手的蔑视。关于令人讨厌的一种吃腐肉的兀鹫，奥杜邦说道，"其雄者在求爱季节开始时所做出的姿态和炫耀都是极其滑稽可笑的。"某些鸟类求爱的滑稽表演是在飞翔中而不是在地面上进行的，如我们所见过的非洲黑织布鸟就是如此。英国小白喉雀春天常在某些灌木上空几英尺或几码高的地方飞翔，"它以一种间歇的古怪动作拍着翅膀，并鸣唱不已，然后落到它的栖木上。"英国大鸨当追求雌者时做出一种无法形容的奇特姿态，沃尔夫曾绘过它的图。在这样时期，亲缘相近的孟加拉鸨则"急拍双翼，垂直地高飞入空，竖起羽冠，鼓起颈羽和胸羽，然后落至地面；"这等表演要重复几次，同时哼出一种特殊的声调。那些碰巧在近傍的雌鸟"听从了这种舞蹈式的召唤"，等她们一到，雄鸟就像雄

① 《阿比西尼亚的尼罗河支流》(The Nile Tributaries of Abyssinia)，1867 年，203 页。

② fairy-ring，蕈类在草地上形成的环状斑纹，从前迷信地认为这是由仙女跳舞而成的。——译注

火鸡那样地拖着双翼，并展开尾羽[①]。

但最为奇特的例子乃得自澳大利亚鸟类三个亲缘相近的属，即著名的造亭鸟，——它们无疑是某些古代物种的共同后裔，这些物种最先获得了造亭的奇异本能以进行其求爱的滑稽表演。这等用羽毛、贝壳、骨头和叶子装饰起来的亭子(图 46)，正如我们以后就要见到的，系建于地面之上，其唯一用途是为了求偶，因为它们的巢是筑在树上的。雌雄二者在造亭上互相帮助，但雄鸟是主要的劳动者。这等本能是如此强烈，甚至在圈养的条件下也照样造亭，斯特兰奇先生曾描述过[②]他在新南威尔士一间鸟舍里所养的一些萨丁造亭鸟的习性。他说，"雄鸟不时在鸟舍里到处追逐雌鸟，然后向亭子走去，啄起一根华丽的羽毛或一张大的叶片，发出一种奇异的叫声，把全身羽毛竖起，绕亭奔跑并变得如此激动，以致它的双眼好像就要从头部迸出；它不断地举起一翼，然后再举起另一翼，发出一种低沉的哨声，并像家养的公鸡那样，好像从地上啄到了什么东西，这样的表演一直要继续到最后雌鸟向它温柔地走去为止。"斯托克斯船长描写过另一个物种即大型造亭鸟的习性及其"游戏室"，他见过这种鸟"飞前飞后，轮流从贝壳的每一边把它衔起，并用嘴把它带过拱道，借此以自娱。"这等奇异建筑乃专门作为聚会场所之用，雌雄二者皆集此取乐，并进行求偶，造此建筑一定要花费这种鸟的巨大劳动。例如，一种胸部淡黄褐色的造亭鸟所造的亭子，长度近 4 英尺，高度近 18 英寸，而且是在一层厚厚的树枝所铺成的平台上建造起来的。

---

① 关于尖尾松鸡(*Tetrao phasianellus*)见理查森的《美国边境地区动物志》，361 页，有关进一步的细节，参阅布莱基斯顿船长的记述，见《彩鹮》，1863 年，125 页。关于兀鹫属(*Cathartes*)和鹭属(*Ardea*)，参阅奥杜邦的《鸟类志》，第 2 卷，51 页，第 3 卷，89 页。关于白喉雀，参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 2 卷，354 页；关于印度鸨，参阅杰尔登的《印度鸟类》，第 3 卷，618 页。

② 古尔德，《澳州鸟类手册》，第 1 卷，444、449、455 页。萨丁造亭鸟的亭子可以在摄政公园(Regent's Park)内的动物学会花园里看到。

图 46 造亭鸟(*Chlamylera maculata*)及其所造之亭(采自勃赖姆)

装 饰

我首先要讨论的事例是,雄鸟的装饰物为它所专有,或者其装饰程度远远高于雌鸟,在下一章所讨论的事例是,雌雄具有同等的装饰,最后所讨论的事例是比较罕见的,即雌鸟的色彩多少比雄鸟的更为鲜艳。鸟类的天然装饰物也同人的装饰物一样,其主要装饰部位是在头部[1]。这等装饰物,如本章开头所说的,极其多种多样。头的前部或后部的羽饰有各种不同的形状,有时能竖起或展开,借

1) 对于这一效果的意见,参阅 I. 肖(Shaw)先生的《动物的美感》(Feeling of Beauty among animals),见《科学协会会刊》(*Atlenaeum*),1866 年 11 月 24 日,681 页。

此来把漂亮的色彩充分显示出来。耳部偶尔生有漂亮的簇毛(见前面图39)。头部有时像雉那样地被以天鹅绒般的柔毛;或裸露无毛而具有生动的色彩。喉部有时也装饰着一把胡子、垂肉或肉瘤。这等附器一般都是色彩鲜明的,虽然它们在我们眼里并不总是那么有装饰性,但无疑是作为装饰之用的;因为当雄鸟向雌鸟进行求偶时,这等附器往往胀大并呈现生动的色彩,就像雄火鸡的情况那样。在这种时候,雄角雉头部周围的肉质附器就膨胀起来而成为喉部一个大垂肉和两只角,这两只角分别位于其漂亮顶结的两边;这时这等附器便呈现我有生以来所见过的最浓烈的蓝色[①]。非洲犀鸟鼓起颈部的深红色囊状垂肉,低垂双翼并展开尾羽,"形成了十分雄壮的外观。"[②] 甚至雄鸟的眼球虹膜,其颜色有时也比雌鸟的更为鲜艳;鸟喙的情况也常常是这样,如我们英国的普乌鹈然。还有一种犀鸟的雄者,其整个喙部和巨大头盔的色彩都比雌者的更为显著;而"下颚两侧的斜沟,乃雄鸟所特有的。"[③]

此外,头部还往往支持着肉质附器、丝状物以及坚实的突起物。这等附器若非雌雄二者所共有,则总是只限于雄者所有。马歇尔博士对这种突起物做过详细描述[④],他指出它们或是由包在皮里面的松质骨所形成或是由上皮组织和其他组织所形成。哺乳动物的真角永远生于额骨之上,但在鸟类,各种骨都为了这一目的而发生了变异;而在属于同一类群的诸物种中,这种突起物可能具有骨髓,也可能完全没有,在这两个极端之间有一系列的中间级进把它们联接起来。因此,正如马歇尔博士所正确指出的,种类最不相同的变异通过性选择为这等装饰附器的发展做出了贡献。延长了的羽毛,即羽饰几乎发生于躯体的各个部分。喉部和胸部的羽毛有

① 参阅默里博士的文章,见《动物学会会报》,1872年,730页,附彩色图。

② 蒙蒂罗(Monteiro)先生,《彩鹮》,第4卷,1862年,339页。

③ 《陆和水》,1868年,217页。

④ 《鸟类头骨的骨质突起》,见《荷兰的动物学文献》,第1卷,第2期,1872年。

时发展成美丽的轮状绉领和项圈。尾羽常常增加了长度；如同我们看到的孔雀尾部覆羽以及锦雉尾部本身的羽毛就是如此。至于孔雀，甚至其尾骨也发生了改变以支持沉重的尾部覆羽①。锦雉的躯体并不大于家鸡，但从其喙端到尾端的长度却不下于5英尺3英寸②，而其饰以美丽眼斑的次级翅羽，其长度也将近3英尺。一种非洲小型夜鹰在生殖季节有一支初级翼羽长达26英寸，而该鸟本身的长度才仅仅10英寸。在另一个亲缘相近的夜鹰属中，其延长了的翅羽的羽干除末端着有圆盘羽毛外全都裸露无毛③。此外，另一个夜鹰属中，其尾羽的发达甚至还要惊人。一般说来，尾羽的延长往往比翼羽为甚，因为翼羽的任何过份延长都会有碍飞翔。这样，我们就可看见在亲缘密切相近的鸟类中雄鸟通过大不相同的羽毛的发育而获得了同类的装饰物。

有一个奇妙的事实：属于很不相同的类群的物种，其羽毛却按照几乎完全一样的特殊方式进行改变。例如上述一种夜鹰，其翼羽的羽干都是裸露无毛的，至其末端才着生圆盘羽毛，有时人们称它为勺状羽毛或球拍状羽毛。这种羽毛在摩特鸟、鱼狗、燕雀、蜂鸟、鹦鹉、几种印度庄哥鸟（卷尾鸥属，*Dicrurus* 和毛虫鸥属，*Edolius*，其中之一的圆盘羽毛与羽干成直角）、以及某些极乐鸟类的尾部也有发生。极乐鸟的头部也装饰着相似的羽毛，其上有美丽的眼斑，某些鹑鸡类的鸟也有这种情况。有一种印度耳鸨，组成其耳簇的羽毛约4英寸长，其末端也着有圆盘羽毛④。正如沙尔文先生所明确指出的⑤，最独特的一个事实是，摩特鸟啄去羽枝使其尾羽呈球拍

① 马歇尔博士，《论鸟尾》(Uber den Vogelschwanz)，见前杂志，第1卷，第2期，1872年。

② 贾丁(Jardine)的《博物学家丛书：鸟类》，第14卷，166页。

③ 斯克莱特，《彩鹮》，第6卷，1864年，114页。利文斯通，《赞比西探险记》，1865年，66页。

④ 杰尔登，《印度鸟类》，第3卷，620页。

⑤ 《动物学会会报》，1873年，429页。

状，而且进一步指出，这种不断的自残行为产生了某种程度的遗传效果。

此外，在各种大不相同的鸟类中，羽枝呈丝状或羽毛状，诸如某些苍鹭类、彩鹳类、极乐鸟类以及鹑鸡类都是如此。在其他场合中，羽枝消失了，整个羽干全部裸露无毛；而极乐鸟尾部的这等裸羽干竟达 34 英寸长[①]，在巴布亚极乐鸟(图 47)，这等裸羽干就短得多而且细得多。这样没有羽枝的小羽毛看来就像火鸡胸部的鬃毛一般。正如人类赞赏时装的飞速变换那样，雄鸟羽毛在构造或色彩上的任何一种变化似乎也会受到雌鸟的赞赏。在大不相同的类群中，羽毛按照相似的方式发生改变这一事实，无疑主要决定于所有羽毛都具有几乎相同的构造和发育方式，因而有按照同样方式发生改变的倾向。在我们那些属于不同物种的家养品种中，我们常常看到它们的羽毛有一种发生相似变异的倾向。例如，若干物种都生有顶结。有一个已绝灭的火鸡变种，其顶结是由裸露无毛的羽翮形成的，其顶端着生柔软的绒羽，因而多少同上述球拍状羽毛相类似。在鸽和鸡的某些品种中，羽毛呈丝状，羽干有某种裸化的倾向。塞巴斯托波尔鹅的肩羽大大延长了，鬈曲，甚至呈螺旋状，其边缘为丝状[②]。

关于色彩，几乎不需在此多谈了，因为，每个人都知道许多鸟类的色彩是多么华丽，而且，这等色彩的配合又多么协调。鸟类的颜色往往具有金属的和彩虹的光泽。在圆点的周围有时环以一层或多层浓淡不同的色带，因而变成了眼斑。关于许多鸟类雌雄二者在颜色方面的巨大差异，也无需多赘，普通孔雀提供了一个显著的事例。雌极乐鸟的色彩暗淡而且缺少任何装饰物，反之，雄极乐鸟

① 华莱士，《博物学年刊杂志》，第 20 卷，1857 年，416 页，另见他的《马来群岛》，第 2 卷，1869 年，390 页。

② 参阅我的《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，289、293 页。

图 47 巴布亚极乐鸟(*Paradisea papuana*)(T. W. 伍德绘)

大概是所有鸟类中最精于装饰者，其装饰如此多种多样，以致见者无不赞叹。在阿波达极乐鸟双翼下生出来的金橙色长羽，当垂直竖起并使之颤动时，有人把这种情景描写成犹如形成了一种太阳晕轮，位于中央的头"看去就像一个由绿玉做成的小太阳，其光线乃

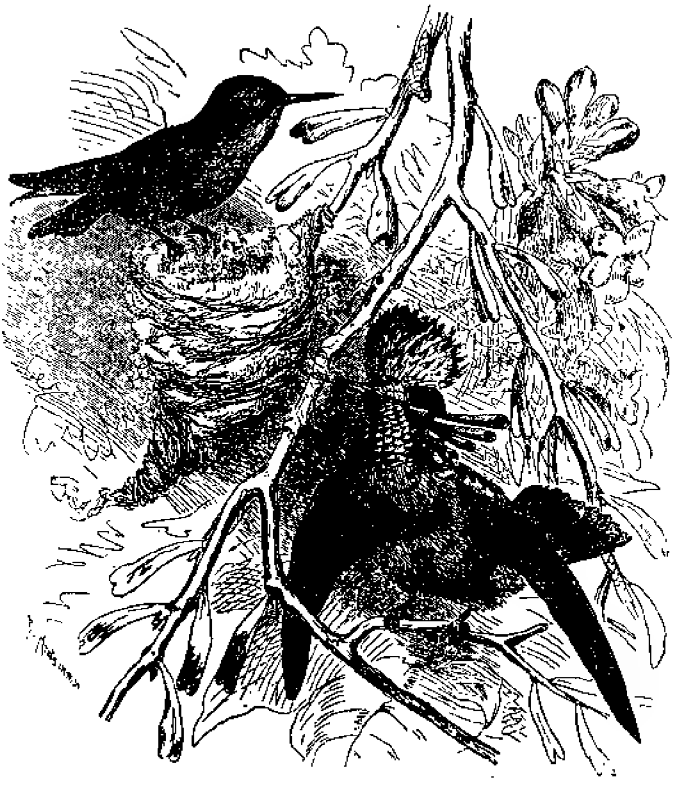


图 48　花冠蜂鸟(*Lophornis ornatus*),雄鸟和雌鸟(采自布雷姆)

是由两支羽毛形成的"①。另有一个最美丽的物种,其头部却是秃的,"具有一种鲜艳的钴蓝色,其上有几道横穿而过的天鹅绒般的

① 引自德拉弗雷内(M. de Lafresnaye)的著述,见《博物学年刊杂志》,第 13 卷,1854 年,157 页;再参阅华莱士先生写的内容更为丰富的文章,见该刊第 20 卷,1857 年,412 页,以及见他的《马来群岛》。

图 49 长尾蜂鸟(*Spathura underwoodi*),雄鸟和雌鸟(引自布雷姆)

黑色羽毛。”①

雄蜂鸟(图 48 和图 49)之美几乎可与极乐鸟相匹敌,凡是见过高尔德先生的佳作或其丰富采集品的人都会承认这一点。很值

① 华莱士,《马来群岛》,第 2 卷,1869 年,405 页。

得注意的是，这些鸟类的不同装饰方法是何等之多。它们羽毛的几乎每一部分都被利用了，而且发生了变异；在属于几乎每个亚群的一些物种中，正如高尔德先生向我指出的，这种变异已达到了令人吃惊的地步。这等情况同我们看到的人类为了装饰所培育出来的那些观赏品种的情况非常相似；某些个体最初在某一性状上发生了变异，而同一物种的其他个体则在其他性状上发生了变异；人类抓住了这等变异，并把它们大大地加以扩充——如扇尾鸽的尾羽、毛领鸽的羽冠、信鸽的喙和垂肉等表明了上述一点。这两类事例之间的唯一不同之处在于：一方面是由于人类选择的结果，而另一方面，如蜂鸟类、极乐鸟类等，乃是由于雌者选择了比较美丽的雄者的结果。

我只再谈谈另一种鸟，它是以雌雄二者色彩的极其强烈对照而闻名的，这就是著名的南美铃鸟，远在 3 英里左右尚可辨别其鸣声，每一个人最初听见它的鸣声时，无不感到惊奇。其雄鸟呈纯白色，其雌鸟呈暗绿色；而白色在中等大小和没有侵害习性的陆栖物种中，是很罕见的色彩。正如瓦特顿所描述的，这种雄鸟还有一个 3 英寸左右的螺旋形管从喙的基部伸出来。它的颜色漆黑，点缀着微细的绒毛。此管和腭相通，可充气膨胀；不膨胀时则挂在一边。这个属包含四个物种，其雄鸟很不相同，而雌鸟则如斯克莱特先生在一篇很有趣的论文中所描述的那样，彼此密切相似，于是这向我们提供了有关共同规律的一个最好例证，即，在同一类群中雄者相互的区别远比雌者相互的区别为大。在第二个物种裸颈铃鸟中，雄鸟同样是雪白色的，只有喉部和眼睛周围的一大块裸皮除外，这种裸皮在生殖季节呈艳绿色。在第三个物种三丝铃鸟中，雄鸟的头部和颈部都是白色的，而躯体的其余部分则呈栗褐色，这个物种的雄者有三条丝状突起物，其长度为其躯体的一半——一条从喙的基部

伸出来，另两条从嘴的两角伸出来①。

成年雄鸟的彩色羽衣和某些其他装饰物或保持终生，或在夏季和繁殖季节定期地更新。在繁殖季节里，它们的喙及其头部周围的裸皮也常常改变颜色，诸如某些苍鹭类、鹳类、鸥类以及刚刚提到的一种铃鸟等都是如此。白彩鹳的双颊、喉部能鼓起的皮肤以及喙的基部在那时都变为艳红色②。有一种秧鸡，叫作冠董鸡，在这期间其雄者的头顶有一块红色大肉冠发育起来了。红嘴鹈鹕喙上的一个薄角质突起也是如此；因为，在生殖季节过后，这种薄角质突起就像雄鹿头上的角那样地脱落了，有人发现在内华达州一个湖中小岛的岸边上，布满了这种脱落下来的奇异残骸③。

羽衣色彩的季节性变化决定于：第一，每年两次的换羽，第二，羽毛自身色彩的实际变化，第三，暗色羽毛边缘的周期性脱落，或者，决定于这三个过程或多或少的结合。暂时性羽毛边缘的脱落可同其幼鸟绒毛的脱落相比拟；因为在大多数场合中，绒毛是由第一真羽的顶端长出来的④。

关于每年两次换羽的鸟类，可分下列五种：第一，雌雄二者彼此相类似，而且无论在任何季节它们的毛色都不改变，如鹬类、燕鸻类和杓鹬类皆是。我不知道它们的各羽是否要比夏羽厚些和暖和些，不过毛色既不改变，保暖似乎是换羽两次的最可能的目的。第二，雌雄二者相类似，但冬羽同夏羽稍有差异，如红脚鹬和其他涉禽类的某些物种皆是。然而冬羽和夏羽的差异如此轻微，以致这种差异几乎不会给它们带来任何益处；也许，这可能是这些鸟类在

① 斯克莱特先生，《知识界观察家》(Intellectual Observer)，1867年1月。《沃特顿游记》(Waterton's Wanderings)，118页。再参阅沙尔文先生的有趣论文，附图，见《彩鹳》，1865年，90页。

② 《陆和水》，1867年，394页。

③ 埃利奥特先生，《动物学会会报》，1869年，589页。

④ 尼奇(Nitzsch)的《羽区学》(Pterylography)，斯克莱特校订，雷伊协会(Ray Society)，1867年，14页。

两个季节中所处的不同条件直接作用的结果。第三，还有许多其他鸟类，其雌雄二者彼此相类似，但夏羽和冬羽则大不相同。第四，有些鸟类，其雌雄二者在色彩上彼此不同；但雌者虽两次换羽却整年都保持着同样的色彩，而雄者则经历色彩的变化，有时变化颇大，如某些鸨类就是如此。第五，也是最后一种，有些鸟类，其雌雄二者无论夏羽和冬羽均彼此不同；但雄者在周而复始的每个季节里所经历的色彩变化，其程度要比雌者为大　在这方面流苏鹬提供了一个良好的事例。

关于夏羽和冬羽在色彩上相异的原因或目的，在某些事例里，例如雷鸟①，可能在两个季节中都是作为一种保护之用的。倘若夏羽和冬羽的差异轻微，这也许像已经说过的，可能是生活条件直接作用的结果。但对许多鸟类来说，夏羽作为装饰品几乎是无可怀疑的，即使雌雄二者彼此相类似，也是如此。我们可以断定，许多苍鹭类、白鹭类等的情况都是如此，因为它们只在繁殖季节才获得美丽的羽饰。还有，这等羽饰、顶结等，虽为雌雄二者所共有，但雄者的比雌者的偶尔稍微发达；而且雄者的羽饰和装饰物只同其他鸟类雄者所具有的相类似。我们还知道圈养可以影响雄鸟的生殖系统，因为圈养常常会抑制其第二性征的发育，但对其他性征却没有直接的影响；巴特利特先生告诉我说，在动物园中圈养的漂鹬有八九个样本整年保持其不加装饰的冬羽，根据这一事实，我们可以推论

---

① 雷鸟的有斑驳的褐色夏羽，作为一种保护色，对它来说其重要性不亚于白色冬羽；因为在斯堪的纳维亚的春季期间，当积雪融化时，这种鸟据了解在获得其夏羽之前受猛禽之害极甚。参阅威廉·冯·莱特（Wilhelm von Wright）的记述，见劳埃德的《瑞典的猎鸟》，1867年，125页。

许多其他鸟类的夏羽虽为雌雄二者所共有，却带有完全的雄性性质①。

根据上述事实，尤其是根据某些鸟类无论雌雄在每年任何一次换羽时都不改变色彩，或改变得如此轻微以致这种改变对它们几乎没有任何用处，以及根据其他物种的雌者虽两次换羽却还整年保持着同样的色彩，我们可以断定，鸟类所获得的每年换羽两次的习性并非为了雄鸟在繁殖季节呈现一种装饰的性状；而是原先为了某种不同目的所获得的两次换羽习性，后来在某些场合中为了取得婚羽而被利用了。

某些亲缘相近的物种有规律地经历每年两次换羽，而其他物种只是一年换羽一次，最初一看，这似乎一个令人惊奇的情况。例如，雷鸡每年换羽两次甚至三次，而黑琴鸡每年仅换羽一次，印度某些色彩华丽的花蜜鸟类以及色彩暗淡的鹨的某些亚属一年换两次羽，而其他仅每年换一次②。但是，已知各种鸟类换羽方式的种种级进向我们表明：鸟类的物种或整个类群最初怎样获得了其每年两次换羽的习性，或者怎样一度获得了这种习性而后又失掉了。某些鸨类和鹬类的春季换羽远远是不完全的，有些羽毛更新了，有些羽毛颜色改变了。还有理由可以相信，关于正常换羽两次的某些鸨类和形似秧鸡的鸟类，其较老的雄鸟有些整年保持其婚羽不变。在春季可能只有少数高度变异的羽毛增添于羽饰之中，如某些印度卷尾鸟的圆盘形尾羽，以及某些苍鹭背部、颈部、胸部上的延长

① 上述换羽情况，有关鹬类的，参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 4 卷，371 页；有关燕鸻类、麻鹬类和鸨类的，参阅杰尔登的《印度鸟类》，第 3 卷，615、630、683 页；有关鹬属（*Totanus*）的，参阅前书，700 页；有关苍鹭羽饰的，同前书，738 页，以及麦克吉利夫雷的著作，第 4 卷，435、444 页，还有斯塔福德艾伦先生的著述，见《彩鹮》，第 5 卷，1863 年，33 页。

② 关于雷鸟的换羽，参阅高尔德的《英国鸟类》；关于花蜜鸟，参阅杰尔登的《印度鸟类》，第 1 卷，359、365、369 页。关于鹨类的换羽，参阅布赖茨著述，《彩鹮》，1867 年，32 页。

羽毛，就是如此。按照上述这些步骤，就可使婚羽的脱换越来越完全，直到最终便获得完全的换羽两次的习性。有些极乐鸟类整年保持其婚羽，这样就仅换羽一次；另外一些极乐鸟类在繁殖季节过后其婚羽就立即脱落，这样，便进行换羽两次；还有其他极乐鸟的婚羽只在头一年的繁殖季节脱落，此后则不，所以后面这些物种的换羽方式乃处于中间地位。许多鸟类每年保持这两种羽衣的期限长短也大不相同；所以其中一种羽衣也许保持全年，而另一种羽衣就完全消失了。例如，流苏鹬在春季只能把它的颈羽保持两个月。在纳塔尔，雄黑尾长羽鸟在 12 月和 1 月获得其美丽的羽衣和长尾羽，一到 3 月它们就脱落了；因此它们大约只保持 3 个月左右。换羽两次的大多数物种可把其装饰性的羽毛保持 6 个月左右。然而，野生原鸡的雄者可把其颈部长羽保持 9 个月或 10 个月；当这等羽毛脱落后，下面的黑色颈羽就充分显现出来了。但是，就这个物种的家养后裔来说，雄鸟的颈部长羽马上就会被新羽所置换，因此在这里我们看到，羽衣的一部分由两次脱换变为在家养状况下的一次脱换了①。

众所周知，普通公鸭在繁殖季节过后就失去其雄性羽衣达 3 个月之久，在这期间它的羽衣同雌鸭的一样。雄针尾鸭失去其雄性羽衣的时间要短些，为六周或两个月；蒙塔古说，"在这么短的时间内换羽两次是一种最异常的情况，这似乎是向人类的一切推理进

① 上述有关部分换羽和成年雄鸟保持其婚羽的情况，参阅杰尔登论述鹞类和鹬类的文章，见《印度鸟类》，第 3 卷，617、637、709、711 页。还有布赖茨的文章，见《陆和水》，1867 年，84 页。关于极乐鸟的换羽，参阅马歇尔博士的有趣论文，见《荷兰文献》(*Archives Neerlandaises*)第 6 卷，1871 年。关于黑羽长尾鸟，参阅《彩鹮》，第 3 卷，1861 年，133 页。关于庄哥-伯劳鸟，参阅杰尔登的前书，第 1 卷，435 页。关于苍鹭(Herodias bubulcus)的春季换羽，参阅艾伦先生的著述，见《彩鹮》，1863 年，33 页。关于原鸡，参阅布赖茨的著述，见《博物学年刊杂志》，第 1 卷，1848 年，455 页；关于这个问题还可参阅我的《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，236 页。

行挑战。"但是，相信物种渐变的人在发现所有级进类型时决不会感到惊奇。如果雄尖尾鸭在更短的期间内获得其新羽衣，那么，新的雄性羽毛几乎必然要和旧的羽毛混在一起，而且新旧羽毛又会和雌者所固有的羽毛混合在一起；一种亲缘不远的鸟，即红胸秋沙鸭的情况就是如此，因为，据说其雄者"经历了羽衣的一种变化，从而使它的羽衣变得同雌者的有几分相像。"这个过程稍微再加快一点，则换羽两次就会完全消失了①。

如上所述，有些雄鸟的色彩在春季变得更为鲜明，并非由于春季换羽，而是由于其羽色发生了实际变化，要不，就是由于其色彩暗淡的暂时性羽毛边缘脱落了。如此而引起的色彩变化所持续的时间可能有长有短。在春季，白鹈鹕的全部羽衣都具有美丽的玫瑰色彩，胸部有柠蒙颜色的斑点；但这等色彩，正如斯克莱特先生说的，"保持不久，一般约在六周或两个月后就消失了。"某些鹬类的羽毛边缘于春季脱落，这时其色彩变得更鲜明，而燕雀类其他的种则不经历这样的变化。例如，美国的暗色燕雀同许多其他美国的物种一样，只在冬季过后才呈显其鲜明的色彩，而确切表现了这种鸟的习性的英国金翅雀，以及在构造上同这种鸟还要接近的英国黄雀，则不经历这样的年度变化。但是，亲缘接近的物种在羽衣上有这类差异并不为奇，因为属于同一科的普通红雀，其艳红色的前额和胸部只在英国的夏季才呈现出来，而在马德拉，这等色彩则可保持全年②。

① 麦克吉利夫雷，《英国鸟类志》(第5卷，34、70和223页)，关于鸭科的换羽材料，引自沃特顿和蒙塔古。另参阅雅列尔著述、《英国鸟类志》，第3卷，243页。

② 关于鹈鹕，参阅斯克莱特文章，见《动物学会会报》，1868年，265页。关于美国的燕雀类，见奥杜邦的《鸟类志》，第1卷，174、221页，以及杰尔登的《印度鸟类》，第2卷，383页；关于马德拉的燕雀(*Fringilla cannabina*)参阅弗农·哈考特(Vernon Harcourt)先生的著述，见《彩鹮》第5卷，1863年，230页。

雄鸟夸耀其羽衣

一切种类的装饰物，不论是永久获得的或暂时获得的，均为雄鸟孜孜不倦地加以夸示，显然这是为了刺激、吸引或媚惑雌鸟。但是，当没有雌鸟在场时，雄鸟有时也夸示其装饰物，如松鸡类在其巴尔兹舞场偶尔发生的情况，又如孔雀也有这种情况；然而，孔雀显然渴望得到某种观众，正如我常常看到的，它在家禽甚至在猪的面前也显示其华丽的羽衣①。所有曾经密切注意过鸟类习性的博物学家们，不论所注意的是自然状况下的或是圈养状况下的，都一致承认雄鸟乐于夸耀其美。奥杜邦屡次谈到雄鸟用各种办法尽力献媚雌鸟。高尔德先生在描述了一只雄蜂鸟的某些特性之后说道，他不怀疑它在雌鸟面前能够最有效地表现其特性。杰尔登博士②坚持认为雄鸟的美丽羽衣乃是用于“媚惑和吸引雌鸟的。”伦敦动物园的巴特利特先生用最有力的字眼向我表达了他自己对这种效果的同样看法。

出现于印度森林里的下述情景必定是很壮观的：“忽然出现了二三十只孔雀，在感到喜悦的雌者之前，雄者夸示其华丽的尾羽，意气扬扬，昂首阔步。”野生雄火鸡竖起其灿烂的羽毛，展开其具有精美轮纹的尾羽和具有条纹的翼羽，再加上其艳红色和蓝色的垂肉，一起形成了一副美丽的模样，虽然这种模样在我们的眼里是奇形怪状。有关各种松鸡的相似事实已经列举过了。现在让我们转来谈谈鸟类的另一个“目”。雄性美洲巨冠黄鸟(图 50)是世上最美丽的鸟类之一，它具有华丽的橙色，有些羽毛奇妙地缩短而成羽

① 再参阅《有装饰的家禽》(Ornamental Poultry)，狄克逊(E. S. Dixon)牧师著，1848 年，8 页。

② 《印度鸟类》，第 1 卷，绪论，第 24 页；关于孔雀，第 3 卷，507 页。参阅古尔德的《蜂鸟科导论》，1861 年，15 和 111 页。

图 50 美洲巨冠黄鸟(*Rupicola crocea*)的雄者(T.W. 伍德绘)

状。其雌鸟为褐绿色并蒙上红晕，而且其羽冠比雄鸟的小得多。朔姆布尔克爵士描述过它们的求爱；他发现它们的一个聚会场所，那里有 10 只雄鸟和两只雌鸟。场所的直径为四至五英尺，其中没有一片叶子，而且平滑得就像用人手整理过的一样。一只雄鸟"在跳跃着，显然使若干其他鸟感到高兴。它随即展翅昂首，或展开羽尾如扇；接着以一种跳跃的步法大摇大摆地走来走去，直到累了为止，这时它急促地发出某种声调，跟着让位给其他雄鸟。于是，有三只雄鸟相继占领了这块空地，然后自我欣赏地退下去休息。"印地

安人为了猎取其鸟皮，守候在它们的一个聚会场所，等这些鸟都热衷于跳舞之际，就能用毒箭一只又一只地射杀四五只[①]。至于极乐鸟类，有一打或一打以上羽毛丰满的雄鸟集合于一株树上举行当地土人所谓的舞会：它们在这里飞来飞去，高举双翼，竖起其优美的羽毛并使之颤动，就像华莱士先生所说的，这整株树好像充满了飘动的羽毛。当它们这样进行时，竟变得如此凝神专注，以致一个好射手几乎可把整个舞会上的鸟全部射下来。当把这些鸟圈养在马来群岛时，据说它们很注意保持其羽毛的整洁；常常伸开其羽毛加以检查，并把每一个尘粒都清除掉。有一位养了几对这种鸟的观察家并不怀疑雄鸟的夸示其美是为了取悦于雌鸟[②]。

金雉和云实树雉在求偶期间不仅展开和抬高其华丽的颈羽，而且如我亲自看到的，还把它扭曲并使之斜对着雌鸟，不论她站在哪一边都是如此，这显然是为了把一个大的表面显示在雌鸟之前[③]。同样地，它们还把其美丽的尾羽和尾覆羽稍微转向雌鸟那一边。巴特利特先生见过一只在求偶活动中的雄孔雀雉（图 51），并给我看了按当时姿态剥制的一个标本。这种鸟的尾羽和翼羽都饰以美丽的眼斑，就像孔雀尾羽上的眼斑那样。当雄孔雀夸示自己时，便展开并竖起其尾羽，使其同躯体相横切，这是因为它站在雌鸟之前，需要同时显示其鲜蓝色的喉部和胸部。但团花雉胸部的色彩是暗淡的，而且眼斑并不限于尾羽才有。因而团花雉不是站在雌鸟之前；但它略为斜斜地抬高和展开其尾羽，把对着雌鸟那边的一翅展开并低垂下来，而把另一边的一翅高举起来。依此姿势，遍布

---

① 《皇家地理学会学报》，第 10 卷，1840 年，236 页。

② 《博物学年刊杂志》，第 8 卷，1854 年，157 页；再参阅华莱士的前书，第 20 卷，1857 年，412 页，以及《马来群岛》，第 2 卷，1869 年，252 页，还有贝内特（Bennett）博士的著述，布雷姆在《动物生活图解》中予以引用，第 3 卷，326 页。

③ 伍德先生就这种夸示方法做过充分记载（《学生》，1870 年 4 月，115 页），一是关于金雉的，一是关于日本雉（*Ph. versicoler*）的；他称此为侧面的或单面的夸示。

图 51　孔雀雉(*Polyplectron chinquis*),雄鸟(T. W. 伍德绘)

全身的眼斑就可以同时暴露在对此赞赏的雌鸟眼前,从而构成一副宽阔灿烂的景象。雌鸟不论转到哪个方向,雄鸟张开的双翼羽和斜举的尾羽也会转向雌鸟那一边。雄红胸角雉的行为也几乎一样,

虽然它不展开翼羽，却把向着雌鸟那一方的躯体上的羽毛竖起，它们在其他时候隐蔽不显，一竖起来则几乎一切具有美丽斑点的羽毛都同时显示出来了。

锦雉提供了一个更为显著的事例。其极为发达的次级翼羽只限于雄鸟才有；每张翼羽饰以一行二三十个直径一英寸以上的眼斑。这些羽毛还具有雅致的斜条纹和成行的暗色斑点，犹如把虎皮和豹皮上的纹彩结合起来一样。这些美丽的装饰物平时隐而不露，等到雄鸟在雌鸟面前夸示自己时才显露出来。这时它竖起尾羽并把翼羽展开，成为一把几乎笔直的大圆扇或一张大盾牌，置于躯体的前方。它的颈和头均保持在一边，因而被大圆扇所遮住（图 52）；但这种雄鸟为了望见正向其夸示自己的雌鸟，有时把头从两支翼羽之间伸出去（像巴特利特先生所见过的），于是表现了一副奇形怪状。这必定是这种鸟在自然状况下的一种常见的习性，因为巴特利特先生和他的儿子在检查从东方送来的一些完整鸟皮时，发现在那两支翼羽间有一处磨损得很厉害，好像鸟头曾经常常在该处伸进伸出。伍德先生认为这种雄鸟也能越过圆扇的边缘从一边窥视雌鸟。

翼羽上的眼斑是一种不可思议的装饰物；正如阿盖尔公爵所说的①，其浓淡如此合宜，以致它们形状凸出得就像置于球穴中的一只球。我在大英博物馆看到过这种标本，它两翼展开，向下垂放，但它使我大失所望，因为这等眼斑显得扁平，甚至凹陷。不过高尔德先生很快就把情况给我讲清楚了，因为，雄鸟当在自然状况下夸示其美的位置上竖起羽毛时，光线是从上方照射下来的。因而各个眼斑立刻就会显得类似那种所谓球与穴的装饰物了。这等羽毛曾给几位艺术家看过，他们对其色彩的浓淡适宜无不表示赞赏。似乎应该这样提问：这种色彩浓淡适宜的艺术性装饰物会不会依据性

① 《法则的支配》(The Reign of Law)，1867 年，203 页。

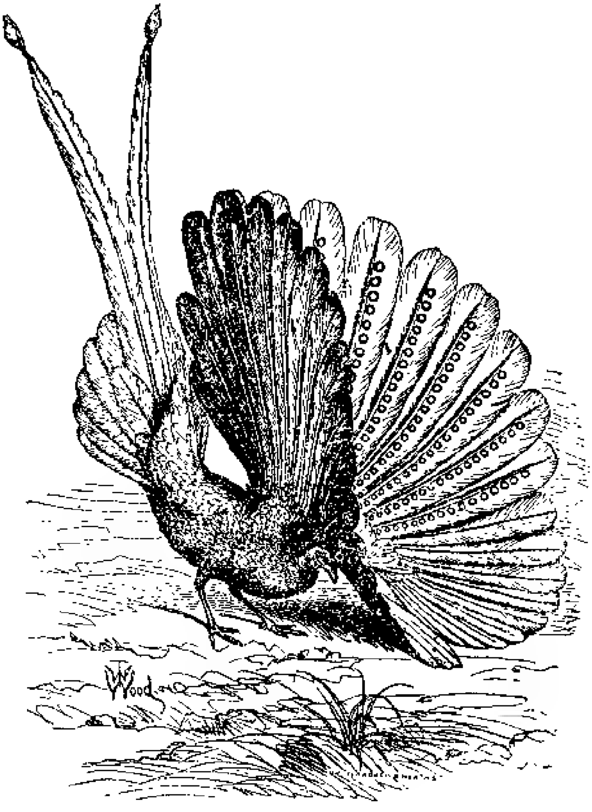


图 52 雄锦雉侧面图，正在雌鸟之前夸耀自己
伍德先生根据在自然界的观察绘制而成

选择的手段而形成的呢？不过把这个问题推延到我们下一章讨论级进的原则时再予以回答将会方便些。

以上所说的是关于次级翼羽的情况，至于初级翼羽，在大多数鹑鸡类中其色彩都是一致的，但在锦雉中则同样是不可思议的。它们具有柔和的褐色以及大量的暗黑斑点，每个斑点都是由二至三个小黑点组成的，并围以暗黑环带。同暗蓝色羽干相平行的有一处空白，它的轮廓是由一支位于真羽之内的次级羽毛形成的，这正是其主要的装饰所在。其里层部分着有较淡的栗色并有微小的白点密布其上。我曾把这等羽毛给若干人士看过，其中有许多人对它的赞赏甚至超过了对球与穴的那些装饰物的赞赏，他们还声称与其说它是自然生成的，莫如说它更像是一种艺术品。在通常所有情况下这些羽毛完全隐而不现，只有当它们和长长的次级羽毛一起全部展开而形成一把大扇或一面盾牌的时候才充分显示出来。

雄锦雉的情况是显著有趣的，因为它提供了很好的证据来说明最优雅的美可能是作为一种性的媚诱而无其他目的。我们必须断定情况确系如此，因为在雄鸟进行求偶之前，其次级翼羽和初级翼羽完全不显露，而且球与穴那种装饰也不完全充分显露。锦雉的色彩并不鲜艳，因此它求爱的成功似乎决定于其巨大的羽型以及精心制作的最优雅样式。许多人将会宣称，一只雌鸟能够欣赏浓淡合宜的色彩和雅致的样式乃是极不可信的。这诚然是一个不可思议的事实：雌鸟的鉴赏力大概接近人类的水平。凡是认为能够可靠地估计低等动物的鉴别力和欣赏力的人，可能都会否定锦雉能够欣赏这种优雅的美；但是，这时他将被迫承认，雄鸟在求偶活动中所表现的异常姿势，乃是借此以充分显示其非常美丽的羽衣。

虽然那么多的雉类以及亲缘接近的鹑鸡类都不厌其烦地在雌鸟面前夸示其羽衣，但是，正如巴特利特先生告诉我的，值得注意的却是，颜色暗淡的蓝马鸡和欢乐雉的情况却非如此；已有这等鸟类似乎意识到它们没有多少可以夸示的美。巴特利特先生从未见过这两个物种的雄鸟相互争斗，虽然他观察欢乐雉的机会不如观察角雉的机会那样好。詹纳·韦尔先生也发现一切雄鸟如果具有

色彩浓艳或特征强烈显著的羽衣，就比同一类群中那些色彩暗淡的物种更好争吵。例如，金翅雀就远比红雀好斗，乌鸫也比画眉好斗。同样地，羽衣发生季节性变化的那些鸟类也在它们装饰最华丽的期间变得更加好斗得多。某些颜色暗淡的鸟类无疑也会互相进行殊死的战斗，但是，当性选择发挥其高度影响并使任何物种的雄鸟具有鲜明色彩时，似乎也往往使这些雄鸟具有一种好斗的强烈倾向。另一方面，同一物种的雄鸟既获得鸣唱的能力又获得灿烂的色彩却是罕有的；但这两方面所获得的利益也许是一样的，这就是媚诱雌鸟的成功。尽管如此，还必需承认，若干色彩灿烂的鸟类，其雄者的羽毛为了发出器乐鸣叫的缘故也曾经发生过特别的变异，虽然这种美，至少按我们的鉴赏标准来说，是无法同许多鸣禽类所发出的声乐鸣叫之美相比拟的。

我们现在转来谈谈没有高度装饰的雄鸟，它们在求偶时仍将其可能有的无论什么吸引力都显示一番。这等事例在某些方面比上述那些事例更为奇妙，但很少为人所注意。感谢韦尔先生为我提供了下述事实，他长期圈养过多种鸟，包括所有英国的燕雀科和鹀科的鸟。这些事实就是从他好心寄给我的大量有价值的记录中选出来的。红腹灰雀为了求爱面走近雌鸟之前时，噗地一下鼓起其胸部，因此其艳红色的羽毛立刻得见，这比在任何位置上都显示得更清楚。与此同时，它把黑尾低垂，从这一边扭转到那一边，作出一副可笑的样子。欧洲苍头燕雀也站在雌鸟之前，这样来显示其红色胸部和“蓝钟”——养鸟行家以此名其头；同时双翼微张，使其肩部的纯白带斑显露无遗。普通红雀鼓起其玫瑰色胸部，微张其褐色的双翅和尾部，以使这等羽毛的白色边缘最充分地显露出来。然而，要断言双翅的展开仅仅是为了显示之故，必须要谨慎，因为某些鸟类的翅膀并不漂亮，但也会这样做。家养雄鸡的情况就是这样，但它所展开的那个翅膀总是对着雌鸡的，同时以翅擦地而过。雄金翅雀的行为不同于所有其他鸝类：它的双翅是美丽的，肩部黑色，翼羽

上散布着白色斑点，其尖端呈黑色，边缘为金黄色。当它向雌鸟求偶时，其躯体摆来摆去，并迅速将其略微张开的双翅先转到一边，然后再转到另一边，于是产生了金光闪闪的效果。韦尔先生告诉我说，没有其他英国雀类在求偶期间这样转来转去的，即使亲缘相近的雄金雀也是一样，这大概因为其美丽并不因此而有所增添。

大多数英国的鹀类都是颜色平淡的鸟；但雄苇鹀的头部羽毛到春天就脱去其污色的毛尖，而获得一种优美的黑色；这等羽毛在求偶活动中就会竖起来。韦尔先生曾经养过澳大利亚产的环喉雀的两个物种：*A. castanotis* 是一种体型很小而色彩朴素的燕雀类，具有一条黑尾，白臀，以及漆黑的尾上覆羽，后者每根羽毛上都有三个显著的椭圆形白色大斑点[①]。这个物种当向雌鸟求偶时，便把这等杂色的尾覆羽微微张开并以很奇特的方式进行摇晃。雄拉塔环喉雀的行为则很不相同，它们在雌鸟之前展示其具有鲜艳斑点的胸部、猩红色的臀部以及猩红色的尾上覆羽。根据杰尔登博士的材料，我在这里还可以补充一点：印度红鹎具有鲜红色的尾下覆羽，可以想象，这等尾覆羽永远不会充分展示的；但这种鸟"一旦激动时，也往往会把这等尾覆羽横向地张开，因而即使从上面也能看到它们。"[②]某些其他鸟类的鲜红色尾下覆羽，即使不进行夸示，也能看见，大型啄木鸟的情况就是如此。普通鸽子的胸部具有彩虹色的羽毛，大家一定都看到过这种雄鸽当向雌鸽求偶时，便把胸部鼓起，这样就会使胸部羽毛显示到充分的程度。澳大利亚有一种具有漂亮的青铜色翅膀的鸽子，叫作冠毛野鸽，其行为，如韦尔先生向我描述的，则迥然不同：当雄鸽站在雌鸽之前时，低垂其头几乎达到地面，张开并高举其尾，并半张其双翅。然后它交替地使其躯体

---

① 有关这些鸟类的描述，参阅高尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，1865年，417页。

② 《印度鸟类》，第2卷，96页。

缓慢起落，因而那些具有彩虹色金属光泽的羽毛立刻尽收眼底，并在阳光下闪闪发亮。

现在已经举出了足够的事实来阐明雄鸟多么细心地显示其种种魅力，而且它们是极其熟练地进行这种显示。当它们用嘴来啄理其羽毛时，它们经常有机会进行自我欣赏并学会如何最好地展示其美。但是，由于同一物种的所有雄鸟都以完全一样的方式来显示自己，因此，这种行为最初也许是有意的，以后就变成为本能的了。果真如此，我们就不应责备鸟类有意识地进行虚夸，然而当我们见到一只把尾羽展开并使其抖动着的孔雀大摇大摆地走来走去时，它似乎就是骄傲与虚夸的唯一典型。

雄者的各种装饰物对它们肯定具有最高的重要性，因为在某些场合中，它们获得这等装饰物是以面临飞行或奔跑的巨大阻力为代价的。非洲夜鹰在交配季节有一支初级翼羽发展成很长的飘带，因而大大减慢了其飞行速度，虽然它在其他时候是以飞得快而著称的。雄锦雉的次级翼羽"非常笨重"，据说这"几乎完全剥夺了它的飞翔能力"。雄极乐鸟的美丽羽毛使它们在大风之际处于困境。南非的雄黑羽长尾鸟的极长的尾羽使"它们飞翔吃力"；一旦这等尾羽脱落后，它们就飞得同雌鸟一样好了。由于鸟类总是在食物丰富时进行繁殖，因此雄鸟在寻找食物时大概不会由于它们行动的阻力而遇到很多不便；但几乎无可怀疑的是，它们一定会更容易地被猛禽类所击落。我们也无法怀疑孔雀的长尾以及锦雉的长尾和翼羽会使它们比无此装饰时更容易被觅食的山猫所捕获。甚至许多雄鸟的鲜明色彩也不会使它们易于被各种敌害所发现。因此，正如高尔德先生说过的，这种鸟类大概一般都具有一种胆怯的性情，好像意识到了它们的美就是危险的根源，它们比颜色暗淡、性情较为温顺的雌鸟或者比尚未装饰的幼小雄鸟更难被发现或者更

难接近[1]。

一个更为奇异的事实是，某些鸟类的雄者具有进行战斗的特殊武器，它们在自然状况下如此好斗以致常常互相残杀致死，这等鸟类由于具有某些装饰而身受其苦。斗鸡者修剪斗鸡的颈部纤毛，割去其肉冠和垂肉；据说这时它们才取得了斗鸡的称号。一只尚未取得斗鸡称号的公鸡，正如特格梅尔先生所主张的，"是处于一种可怕的劣势；它的鸡冠和垂肉容易被其对手啄住，雄斗鸡总是向它所啄住的地方进行打击，一旦它啄住其对手时，就把对手完全控制在自己的力量之下了。即使假定这只雄斗鸡没有被杀死，未经修剪者所流的血也远比修剪者多得多。"[2]幼小雄火鸡在相斗时总是啄住对方的垂肉；我相信成年火鸡也是按照同样的方式彼此争斗。也许有人会反对说，肉冠和垂肉并非装饰性的，因而在这方面不会对它们有什么用处；但是，即使以我们的眼光来看，光泽闪闪的黑色雄西班牙鸡之美也会被其白脸和鲜红色肉冠大大加强；雄红胸角雉在求偶时便鼓起华丽的蓝色垂肉，凡是见过这种情景的人将会毫不迟疑地承认它要达到的目的正是在于美观。根据上述事实，我们清楚地看到了雄鸟的羽饰以及其他装饰物对它们一定具有最高的重要性；我们进一步看到这种美甚至有时比相斗的胜利还更重要。

---

① 关于非洲夜鹰（*Cosmetornus*）参阅利文斯通的《赞比西探险记》，1865 年，66 页。关于锦雉，参阅贾丁的《博物学从书：鸟类》第 14 卷，167 页。关于极乐鸟类，参阅莱生的著述，布列姆引用，见《动物生活图解》，第 3 卷，325 页。关于黑羽长尾鸟，见巴罗（Barrow）的《非洲游记》（Travels in Africa），第 1 卷，243 页，以及《彩鹮》，第 3 卷，1861 年，133 页。古尔德先生关于雄鸟肥恬的论述，见《澳大利亚鸟类手册》，第 1 卷，1865 年，210、457 页。

② 特格梅尔，《家禽之书》，1866 年，139 页。

第十四章

鸟类的第二性征(续)

雌鸟实行选择——求偶历时甚久——丧偶的鸟类——心理属性和审美力——雌鸟对特殊雄鸟所表现的爱好和憎恶——鸟类的变异性—变异有时是突发的——变异的法则——眼斑的形成——性状的级进——孔雀、锦雉和蝶鸟诸例。

当雌鸟和雄鸟在美丽方面或在鸣唱能力方面或在演奏我所谓的器乐能力方面有所差异时,几乎总是雄鸟胜过雌鸟。这些属性,如我们刚刚见过的那样,对雄鸟显然具有高度的重要性。如果只在一年的一部分时间表现有这等属性,这总是在生殖季节以前。只有雄鸟才尽力显示其种种的魅力,并常常在地面或空中于雌鸟之前进行奇怪的表演。每只雄鸟都要把其竞争对手赶走,如有可能,就要把它们杀死。因此,我们可以断言,雄鸟的目的就在于诱使雌鸟与之交配,为了达到这个目的,它试图用各种方法去刺激她,媚惑她;这就是所有仔细研究过鸟类习性的人们所持的见解。但是,还留下一个同性选择有非常重要关系的问题尚待解决,即,同一物种的每只雄鸟是否都同等地刺激和吸引雌鸟呢?或者,雌鸟是否实行选择并且偏爱某些雄鸟呢?后面这个问题,可用许多直接的和间接的证据予以肯定的回答。究竟是那些属性来决定雌鸟的选择,殊难断言;但我们在这里也有某些直接的和间接的证据可以证明雄鸟的外在魅力在很大程度上是决定雌鸟选择的因素;虽然雄鸟的精

力、勇敢以及其他心理属性无疑也起了作用。我们将从间接的证据开始。

求偶历时甚久

某些鸟类的雌雄二者日复一日地在一个约定的场所相会，历时颇久，这大概部分地决定于鸟类求偶是一件费时的事情，而且部分地决定于交配行为是反覆进行的。例如，在德国和斯堪的纳维亚，黑松鸡所举行的巴尔兹或勒克斯舞会从 3 月中开始，经过 4 月份整整一个月，一直到 5 月才结束。在勒克斯舞会上聚会的鸟竟达四五十只，甚至还要多；而且以后连续数年往往都在这同一场所聚会。雷鸟的勒克斯舞会从 3 月底开始，到 5 月中甚至到 5 月底才结束。在北美，尖尾松鸡的“鹧鸪舞”“要持续一个月或者还要长些。”无论北美或西伯利亚东部[①]的其他种类的松鸡差不多都遵循相同的习性。捕鸟人根据草被踏光的情况可以发现流苏鹬相聚的小丘，这说明此处是它们长期出没的场所。圭亚纳的印地安人十分熟悉岩鹆的清洁的活动场所，他们可以期望在那里找到漂亮的雄岩鹆；新几内亚土人知道极乐鸟聚会于其上的那些树，10 只到 20 只羽饰丰满的这种雄鸟常集合于此。在后而这个例子里，没有明确提到在这些树上是否有雌鸟来会，但是，捕鸟人如果没有被特别询及，大概不会谈到有无雌鸟在场，因为她们的鸟皮是毫无价值的。一种非洲织巢鸟在繁殖季节集合起来举行小型舞会并表演其优美的舞蹈动作达数小时之久。大量的独居丘鹬每于黄昏时节在沼泽中相

① 诺曼（Nordman）描述（《莫斯科自然科学皇家学会公报》Bull. Soc. Imp. des Nat. Moscout 1861, tom xxxiv, p. 264）阿穆尔细嘴松鸡（Tetrao urogalloides）的巴尔兹舞会。他估计集合在舞场中的鸟约在 100 只以上，不包括卧藏于周围灌木中的雌鸟。它们发出的喧嚣声和松鸡（Tetrao urogallus）的有所不同。

聚；以后连续几年它们为了同样目的仍然常常出没于同一场所；在那里可以看到它们"像许多大老鼠似地"跑来跑去，高耸其羽毛，拍打其双翼，并发出最奇异的叫声。①

在上述鸟类中有些据认为是一雄多雌者，如黑松鸡、雷鸟、雉松鸡、流苏鹬，独居鹬即是，大概还有其他鸟类也是这样。对这等鸟类来说，可以认为其雄鸟之强者大概只要把弱者赶走后，马上就可以占有尽可能多的鸟；但如果雄鸟必须去刺激或取悦于雌鸟的话，那么我们就能理解为什么需要那样长的时间进行求偶，而且需要在同一个地点集合那么多雌雄二者。某些严格单配的物种也同样举行结婚集会；澳大利亚琴鸟做成的"小圆丘"，以及阿氏琴鸟给自己扒成的浅穴，都被当地土人称为"克罗伯瑞舞场"，据认为那里就是两性相聚的场所。澳大利亚琴鸟的集会有时规模很大。最近一位旅游者发表的一篇文章说②，他曾到过一处地方，其下为一茂密丛林所覆盖的山谷，他听到从那里发出了"一阵使他十分震惊的喧哗"；他慢慢地走近该处，惊奇地看到了约有150只华丽的琴鸟"列阵相争，并以无法形容的狂怒进行战斗。"造亭鸟的亭子乃其雌雄二者在生殖季节常去之处；"雄鸟在此相遇并为了取悦于雌鸟而互相争斗，雌鸟则集合于该处向雄鸟卖弄风情。"该属有两个物种，它们许多年都常常在同一个亭子相聚。③

普通喜鹊，如达尔文·福克斯牧师告诉我的，常从德勒密尔森林各处集合起来，以庆祝其"盛大的喜鹊婚礼"。数年前这种鸟的数

---

① 关于上述松鸡的集会，见布雷姆的《动物生活》(Thierleben)第4卷，350页；再参阅劳埃德的《瑞典猎鸟》，1867年，19，78页。理查逊，《美国边境地区动物志》，鸟类，362页。有关其他鸟类集会的参考材料已列举过了。关于极乐鸟类，参阅华莱士的著述，见《博物学年刊杂志》，第20卷，1857年，412页。关于鹬，参阅劳埃德的上述著作，221页。

② 伍德先生引用，见《学生》杂志，1870年4月，125页。

③ 古尔德，《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，300、308、448、451页。关于以上提到的雷鸟，参阅劳埃德的上述著作，129页。

量特别多，因而一个猎场看守人在一个早晨就打死了19只雄鸟，另一人一枪就打死了栖息在一起的7只鸟。再者，它们有早春集合于特殊地点的习性，在那里可以看到成群的这种鸟叽叽喁喁乱叫，有时互相争斗，并在树的周围喧闹着飞来飞去。它们显然把这看作是高度重要的事情。在集会后不久它们就各自分散了，福克斯先生和其他人士曾见到它们就在这一季节交配。凡是一个物种没有大量成员存在的任何地区，自然无法在那里举行盛大集会，因而同一物种在不同地方可能有不同的习性。例如，韦德伯恩先生向我说过一个例子：黑松鸡在苏格兰只举行一次例会，而在德国和斯堪的纳维亚这等集会是如此闻名，以致获得了专用名称。

丧偶的鸟类

根据现在提出的事实，我们可以得出结论说，属于大不相同的类群的鸟，其求偶往往是一件费时、微妙而麻烦的事情。甚至还有理由推测，最初看起来这好像是不可能的，即，栖息于同一地区、属于同一物种的某些雄鸟和雌鸟并非总是相互喜欢，因而不互相交配，已经发表过的许多记载表明，一对配偶中的雄鸟或雌鸟如果被射杀，很快就会有另一个来代替。在喜鹊比在任何其他鸟类更会经常看到这种情况，恐怕这是由于其外貌和鸟巢惹人注目之故。著名的詹纳说，在维尔特郡，一天之内就射杀了一对喜鹊中的一只不下七次之多，“但全无用处，因为剩下的那只喜鹊很快又找到了另一只配偶”；而最后这一对照样养育幼鸟。新配偶一般要在隔天才会找到；但汤普逊先生举出过一个例子表明在同一天傍晚就换了一个配偶。即使在鸟卵孵化之后，若有老鸟之一被杀，也会找到一只

配偶;拉卜克爵士的猎场看守人最近观察到的一个例子[①]表明,这种情形发生在两天之后。首先的和最明显推测将是,雄喜鹊的数量一定比雌喜鹊多得多;而且在上述场合中,以及在能够举出的许多其他场合中,被杀死的只是雄鸟。这种推测对某些事例显然是适用的,因为德勒密尔森林的猎场看守人向福克斯先生保证说,以前有大量的喜鹊和食腐肉的乌鸦在其鸟巢附近被相继打死,而且被打死的全是雄鸟;他们对这一事实的解释是,雄鸟在把食物带给孵卵的雌鸟时比较容易被打死。然而,麦克吉利夫雷根据一位优秀观察家的材料,举出一个事例表明,在同一个窝里相继被打死的三只喜鹊都是雌鸟;另外还有一个事例表明,有六只喜鹊连续被打死,当时它们都相继在抱同一窝的卵,从抱窝这一点来看,它们多数可能是雌鸟;但是,我听福克斯先生说过,雌鸟一旦被打死,雄鸟就要代之孵卵。

卢伯克爵士的猎场看守人曾反覆地用枪射死了一对松鸦中的一只,但不能详说其射击次数,射杀一只以后,总能发现另一只未亡者又再婚配了。福克斯先生、邦德先生以及其他人士都曾用枪打死过一对食腐肉的小嘴乌鸦中的一只,但其巢很快又有一对鸦住上了。这些鸟类都是相当普通的,但游隼则是罕见的,然而汤普逊先生说道,在爱尔兰"如果其成熟的雄者或雌者在生殖季节中任何一只被打死了(这并非是不常有的事),另一只在几天内就会找到配偶,因此,隼鹰尽管有了这类伤亡,肯定还会产出足够的幼鸟来补充。"詹纳·韦尔先生所知道的滩头堡的隼也是如此。同一位观察家告诉我说,三只红隼全系雄者,在先后光顾同一鸟巢时都相继被打死了;其中两只都具成熟的羽衣,第三只则具前一年的羽衣。

① 关于喜鹊,参阅詹纳的论述,见《自然科学学报》,1824年,21页。麦克吉利夫雷,《英国鸟类志》,第1卷,570页。汤普森,《博物学年刊杂志》,第8卷,1842年,494页。

一位苏格兰的可信赖的猎场看守人向伯贝克先生保证说，即使是罕见的金雕，倘若一对中有一只被打死了，很快就会找到另一只顶替它的。短耳鸮也是如此，"未亡者很容易找到一只配偶，尽管射杀不断进行。"

塞尔伯恩的怀特，即举出鸮的实例者，进一步说，他知道有一个人相信山鹑的交配会由于雄者的相斗而受到干扰，所以常常去射死它们；他虽然几次使同一只雌鸟丧偶，但她总是很快又找到了新配偶。同一位博物学家又因麻雀夺去了家燕的巢，命令把前者射杀；但一对中所留下的"不论是雄者或雌者，立刻就会得到一只配偶，连续几次都是如此。"有关苍头燕雀、夜莺以及红尾鸲的情况，我还可以补充几个近似的例子。就红尾鸲来说，一位作家感到非常惊奇的是，抱窝的雌鸟如何能够那么快地做出有效的表示，使雄鸟知其为寡者而来就之；之所以叫之感到惊奇还因为附近并不常见这种鸟。詹纳·韦尔先生向我说过一个非常相似的事例：他在布莱克希思从未见过野红腹灰雀，也没有听过它的鸣叫，然而当他养在笼子里的一只雄鸟死后，一般在几天之内就会有一只野生雄鸟飞来栖于丧偶的雌鸟附近，而雌鸟的叫声并不高。根据同一位观察家的材料，我还要再举另一个事实：有一对紫翅椋鸟，其中之一在早晨被打死，到了中午一个新配偶就被找到了；这一只又被打死，但到晚上以前这一对又配齐了。因此那个忧伤的寡鸟或鳏鸟在同一天之内就三次得到了安慰。恩格尔哈特先生也告诉我说，在布莱克希思有一处房屋，欧椋鸟在这所房屋一个空穴内筑巢，几年以来他常常把配偶的一只打死，但失去的那一只的位置总是立刻就会补上。在某一个季节里，他做了记录，发现从同一个巢打死了 35 只，其中有雌鸟，也有雄鸟，但二者的比例如何，他说不清楚。尽管如

此，在经历了所有这些灾祸以后，一窝鸟还是生育出来了。[①]

这些事实十分值得注意。怎么会有那么多的鸟随时可以立即顶替雄者或雌者任何一方所失去的一个配偶呢？我们在春季所看到的喜鹊、松鸦、小嘴乌鸦、山鹑和其他一些鸟类总是成双成对的，从未见过它们是独身的；乍一看，这种情况是极其复杂的。但是，同一性别的鸟，当然不会真正地相配，虽然如此，有时也成对或成小群地生活在一起，据知鸽子和鹧鸪的情况即是。有时鸟类还会三只一组地生活在一起，有人观察到椋鸟、小嘴乌鸦、鹦鹉和山鹑就是如此。关于山鹑，已知有两只雌者和一只雄者生活在一起以及两只雄者和一只雌者生活在一起。在所有这类场合中，这种结合大概容易破裂；因为三者之一随时都会同一只寡鸟或一只鳏鸟相配。偶尔会听到某些鸟类的雄者在过了特定的季节很久以后还纵声高唱其求爱的歌曲，这表明它们已经失去或从未得到过一只配偶。一对配偶中的一只如死于事故或疾病，就会使另一只成为自由而孤单的；有理由相信雌鸟在生殖季节特别容易夭折。此外，巢窝被毁的鸟，或不育的配偶，或发育迟缓的个体，大概都容易诱使其一离去，而且还会出于乐趣和义务去抚养虽非自己所生的后代。[②] 这种偶然

① 关于游隼，参阅汤普森的《爱尔兰博物学，鸟类》，第1卷，1849年，39页。关于枭、麻雀和鹧鸪，参阅怀特的《塞尔布温博物志》，1825年1版，第1卷，139页。关于红尾鸲，参阅劳登主编的《博物学杂志》，第7卷，1834年，245页。布雷姆（《动物生活》，第4卷，991页）也提到了鸟类在同一天交配三次的例子。

② 参阅怀特关于在该季节的早期有小群雄鹧鸪存在的著述（《塞尔布温博物志》1825年，第1卷，140页），我还听到过有关这一事实的其他例子。参阅詹纳关于某些鸟类生殖器官延缓发育的著述，《自然科学学报》，1824年。关于三鸟同居，詹纳·韦尔先生为我提供了有关椋鸟和鹦鹉的事例，福克斯先生提供了有鹧鸪的事例，谨此致谢。有关小嘴乌鸦，参阅《田野新闻》，1864年，415页。关于各种雄鸟在特定时期过后的歌唱，见詹尼斯牧师的《博物学观察》，1846年，87页。

发生的事情大概可以说明大多数上述事例。①尽管如此，在同一地区内，正值生殖季节的高峰期间，成对之鸟损失其一，竟有如此众多的雄鸟和雌鸟随时准备补上，也还是一个奇怪的事实。为什么这等孤独诸鸟没有彼此立刻相配呢？难道我们没有某种理由来推测，由于鸟类的求偶看来在许多场合中都是一件费时而麻烦的事，所以会偶尔出现某些雄鸟和雌鸟在特定季节内没有能够成功地激起彼此的爱情，因而没有结为配偶吗？詹纳·韦尔先生就曾做过这样推测。当我们看到了雌鸟会偶尔对特殊的雄鸟表示何等强烈的憎恶和偏爱之后，可知这种推测似乎就不那么不可能了。

鸟类的心理属性及其对美的鉴赏力

在我们进一步探讨雌鸟究竟选择魅力较强的雄鸟还是接受她们所可能碰到的头一个雄鸟这个问题之前，大致地考察一下鸟类的心理能力将是合宜的。它们的理智一般被认为是低等的，这种意见也许是正确的；但还可以举出导致相反结论的一些事实。② 然而，低级的理解力同强烈的感情、敏锐的知觉以及对美的鉴赏力是

① 下述事例是由莫里斯（F. O Morris）牧师根据尊敬的福雷斯特牧师（Rev. O. W. Forester）的权威材料提出的，（《泰晤士报》，1868年8月5日），他说，“猎场看守人今年在此发现了一个鹰巢，内有五只小鹰。他捕杀了其中4只，留下一只剪短了翅膀的小鹰作为媒鸟，用以诱杀老鹰。次日，有两只老鹰给小鹰喂食，都被打死了，看守人以为事情就会至此完结。但第二天他来到那里，发现又有两只慈悲的老鹰怀着收养和救助孤雏的心情到了那里。他又把它们打死了，然后离开鹰巢而去。后来他回去时又发现两只更加慈悲的老鹰来办理同样的慈善事。他用枪打死了其中一只，另一只也被打中，但未能找到。此后就再没有老鹰来干这种无效的事了。”

② 下面一段是牛顿教授从亚当先生的《一个博物学家的游记》（Travels of a Naturalist，1870年，278页）中摘录的。他在谈到笼养的䴓（nut-hatches）时说道，日本五十雀通常的食物为紫果紫杉比较容易破裂的果实，有一次我用榛果代替了这种食物，这种鸟由于不能把榛果弄破，就把榛果一粒一粒地放到水盂里去，显然以为早晚能把它泡软。——这是有关这种鸟的智力的一个有趣证据。

并存的，我们从人类可以看到这种情形；而我们在这里所要讨论的正是后面这些属性。往往听说，鹦鹉如此深深地相互依恋，以致有一只死了，另一只会长期悲伤憔悴；但詹纳·韦尔先生认为大多数鸟类感情的强度是被夸大了。尽管如此，当配偶的一只在自然状况下被打死之后，还会听到未亡者在此后几天要发出一种痛苦的鸣叫；圣约翰先生举出了各种事实来证明已成配偶的鸟类有相互依恋之情。① 贝内特先生述说，② 中国所产的美丽鸳鸯，如果其雄者被偷走之后，剩下的雌鸳鸯尽管有另一只雄鸳鸯在雌者面前显示其全部的魅力，殷勤地向她求爱，仍然郁郁不乐。三周以后那只被偷走的雄鸳鸯又出现了，于是这一对鸳鸯立即以极大的喜悦彼此认出来了。另一方面，如我们已经提到的，欧椋鸟一天内三次失偶能三次换配新偶。鸽子对地点具有非常卓越的记忆力，据知它们离开原地 9 个月后还能飞回，可是，如我听哈里逊·韦尔先生所说的，如果有一对自然终生匹配的鸽子在冬天被分开少数几个星期、又分别同其他鸽子相配，那么，此后把原来那一对鸽子再放到一起时，彼此还能相认者，即使有的话，也是罕见的。

鸟类有时表现有仁慈的感情；它们喂养甚至属于不同物种的幼鸟，不过也许应认为这是一种错误的本能。它们还喂养双目失明的同种的成年鸟，本书前一部分对此已有所论及。布克斯顿先生做过一项奇妙的记载，表明一只鹦鹉照管一只异种的冻伤了而残废的鸟，将其羽毛弄干净，保护她免受其他在他花园周围自由飞翔的鹦鹉的攻击。更为奇妙的是，这些鸟对于同伙的欢乐明显表示了某种同情。当一对白鹦在一株合金欢树上做巢时，“同种的其他鹦鹉

① 《萨瑟兰郡游记》(A Tour in Sutherlandshire)，第 1 卷，1849 年，185 页。布勒(Buller)博士说(《新西兰的鸟类》，1872 年，56 页)，一只雄大型长尾鹦鹉被打死了；于是雌鸟“表现焦急和郁郁不乐，拒绝进食，因过度悲伤而死”。

② 《新南威尔士流浪记》(Wanderings in New South Wales)，第 2 卷，1834 年，62 页。

对这件事表示了高度的兴趣，其态甚为滑稽可笑。"这等鹦鹉还表现有无限的好奇心，而且明显地具有"财产和所有权的观念。"① 它们有良好的记忆力，因为在动物园里经过几个月后它们还能明确地认出以前的主人。

鸟类具有敏锐的观察能力。已配的每一只鸟当然都认识其伴侣。奥杜邦说，"模拟画眉"有一定数量一年到头都留在路易斯安那，而其余的那些则向东部各州迁徙；这些鸟一回来马上就会被其南方同胞认出，而且总要遭到它们的攻击。笼养的鸟能辨认不同的人，它们对某些个人并无明显原因的强烈而持久的憎恶或喜爱证明了这一点。我听说过不少关于松鸦、山鹑、金丝雀，尤其是灰雀在这方面的事例。赫西先生描述过一只驯养的鹧鸪如何奇异地认出了每个人；它的爱和憎都很强烈。——这只鸟似乎"喜欢华丽的颜色，谁穿上新上衣或戴上新帽子没有不引起它的注意的。"② 休伊特先生描述过某些鸭的习性（乃野鸭的最近后代），它们一见陌生的狗或猫来到，就急速纵身入水，竭力逃避；但它们同休伊特先生的狗和猫如此熟识，甚至卧于其旁晒太阳。它们见到陌生就避去，喂养它们的妇女如果在衣服方面有任何重大改变，它们也会避开。奥杜邦说，他驯养过一只野火鸡，它一见到任何陌生的狗总是跑掉；它曾逃入森林，几天后奥杜邦碰见了这只野火鸡，就叫他的狗去追，当狗追到时却不攻击这只火鸡，这才知道是丢的那只。③

詹纳·韦尔先生相信鸟类特别注意其他鸟类的色彩，这有时是出于嫉妒，有时表示彼此是亲属。例如，他把一只具有黑色头饰

① 《鹦鹉的驯化》(Acclimatization of Parrots)，巴克斯顿议员(C. Buxton, M. R.)著，见《博物学年刊杂志》，1868 年 11 月，381 页。

② 《动物学者》，1847—1848 年，1502 页。

③ 休伊特关于野鸭的著述，见《园艺杂志》，1863 年 1 月 13 日，39 页。奥杜邦关于野火鸡的著述，见《鸟类志》第 1 卷，14 页。关于"模拟画眉"，参阅上述著作，第 1 卷，110 页。

的苇鹀放进他的鸟舍，除一只红腹灰雀外，没有引起任何鸟对这只新客的注意，而这只红腹灰雀的头同样也是黑色的。这只红腹灰雀是很安静的，以前从未和任何同伴争吵过，包括另一只头部尚未变黑的苇鹀在内；但是，这只黑头苇鹀受到的虐待如此之凶，以致不得不把它移走。蓝顶雀在生殖季节呈鲜蓝色；虽素性温和，但也攻击仅头部呈蓝色的蓝顶雀，甚至把后面这不幸者的头皮完全剥掉。韦尔先生也不得不把一只歌鸲从他的鸟舍移走，因为它在其中大肆攻击所有在羽衣上带有红色的鸟类，对其他鸟则不攻击，事实上它弄死了一只红交嘴雀，而且几乎把一只金丝雀弄死。另一方面，他也观察到，当把某些鸟类首次放进他的鸟舍时，它们就飞向那些色彩最像它们的物种，并落于其旁。

由于雄鸟在雌鸟之前很细心地显示其漂亮的羽衣和其他装饰物，所以这等雌鸟欣赏那些求婚者的美，显然是可能的。然而要获得有关雌鸟审美力的直接证据却是困难的。当鸟类注视其镜中之影时（关于这方面的例子已有许多记载），我们无法肯定这不是出自它对一个假想竞争对手的妒嫉，虽然有些观察家的结论与此相反。在其他场合中，要把单纯的好奇和鉴赏区别开来也是困难的。正如利尔福爵士所说的，[①] 吸引流苏鹬向任何明亮目标飞去的恐怕就是好奇心，因此在爱奥尼亚群岛，“它不顾反覆射击，急向一块颜色明亮的手绢飞去。”用一面镜子在太阳底下晃动使其闪闪发光，这样就可以把普通云雀从天空引至地面而大批捕获它们。喜鹊、乌鸦和其他某些鸟类偷藏诸如银器和珠宝等某些明亮物体，究竟是出于鉴赏还是出于好奇呢？

吉尔德先生说，某些蜂鸟以“最大的兴趣”来装饰其鸟巢外部，“它们本能地在它上面贴上美丽平坦的地衣块，大者置于中央，小者放在和树枝相连的地方。不时把一根美丽的羽毛缠结在或粘着

① 参阅《彩鹮》，第2卷，1860年，344页。

于鸟巢外面，把羽梗总是放在适当的位置，以使羽毛突出于表面之外。"然而，关于审美力的最好证据，还是前面提到的澳洲造亭鸟三个属所提供的。它们的亭子(见图 46)是雌雄二者相聚和进行奇异表演的场所，其构造各不相同，但同我们的讨论最有关联的乃是几个物种以不同的方式去装饰它们的亭子。萨丁造亭鸟收集色彩华丽的物品，诸如长尾鹦鹉的蓝色尾羽、漂白的骨头和贝壳，把它们插于树枝之间或摆在门口。古尔德先生在一个亭子里发现了一个工艺灵巧的石斧和一束蓝色棉花，显然这是从当地土人的一个野营里取来的。这些物体不断地被重新摆设，这些鸟在嬉戏时还把它们带来带去。斑点造亭鸟的亭子"系用高高的草造成，诸草排列整齐美观，草尖几乎相碰，而且装饰物极其丰富。"圆石子被用来把草梗固定于适当的位置，并用它们铺成一些通往亭子的曲径。石子和贝壳常常是从远方运来的。大王造亭鸟如拉姆塞先生所描述的，用五六种漂白的贝壳以及"蓝的、红的和黑的各种颜色浆果装饰其矮亭，这些浆果的外貌在新鲜时非常漂亮。此外，还有新捡回来的几片叶子和淡红色的嫩枝用作装饰，整个情况表明"它有一种明确的审美力"，高尔德先生也许说得好："这等高度装饰起来的聚会大厦必被认为是迄今所发现的鸟类建筑的最奇异事例"；而几个物种的这种审美力，如我们所见到的，肯定有所不同。①

雌鸟对特殊雄鸟的偏爱

在对鸟类的鉴别力和审美力作了以上这些记述后，我将把我所知道的有关雌鸟偏爱特殊雄鸟的事例列举出来。有一点是肯定

① 关于蜂鸟的有装饰的鸟巢，参见古尔德的《蜂鸟科导论》，1861 年，19 页。关于造亭鸟参阅古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，1865 年，第 1 卷，444—461 页。拉姆齐，《彩鹮》，1867 年，456 页。

的，即鸟类的不同物种在自然状况下会偶然交配并产生杂种。可举出这方面的许多事例：麦克吉利夫雷述说，一只雄乌鸫和一只雌画眉“彼此多么相爱”，并产生了后代。[①] 关于松鸡和雉之间的杂种，几年前在英国曾记载过18个事例；[②] 但是，大多数例子，根据独身雄鸟找不到本种的雌鸟与之相配这一情况，或者可以得到说明。关于其他鸟类，如詹纳·韦尔先生有理由相信的那样，其杂种有时是近巢诸鸟偶尔互相杂交的结果。但这种说法对驯养或家养的异种鸟类的许多见于记载的事例不能适用，它们虽和本种的同类生活在一起，却被异种强烈地吸引住了。例如，沃特顿说：[③]有一大群加拿大的白颈雁，共23只，其中一只雌雁和一只独居的伯尼克尔雄雁交配了，尽管它们的外观和大小是那样不同，可是还产生了杂种后代。一只雄赤颈凫虽和同种的雌者生活在一起，据知却和一只针尾鸭交配了。劳埃德描述过一只雄麻鸭和一只普通母鸭之间的明显相恋。还可进一步举出许多例子；狄克逊牧师说，“凡是把许多异种的鹅养在一起的人都很了解它们彼此之间常常极相依恋，但其原因不明，它们十分愿意和一个显然跟自己最不相同的族（物种）的个体交配，并养育其后代，其情况正如和本种交配一样。”

福克斯牧师告诉我说，他同时饲养着一对中国鹅和一只雄的、三只雌的欧洲普通鹅。开始时这两种的界限十分分明，后来一只雄中国鹅竟引诱了一只雌普通鹅与之共同生活。尤有甚者，从雌普通鹅下的蛋孵出来的小鹅只有四只是纯种的，另外18只都证明是杂

① 《英国鸟类志》，第2卷，92页。

② 《动物学者》，1853—1854年，3946页。

③ 沃特顿，《博物学论文集》(Essays on Nat. Hist.)，第2辑，42和117页。在以下的叙述中，关于赤颈凫，参阅劳登主编的《博物学杂志》，第9卷，616页；劳埃德《斯堪得纳维亚探险记》第1卷，1854年，452页。狄克逊，《有装饰的家禽》(Ornamental and Domestic Poultry)137页；休伊特，《园艺杂志》，1863年1月13日，40页，贝希斯坦，《笼鸟志》(Stubenvögel)，1840年，230页。詹纳·韦尔先生最近就鸭的两个物种向我提供了一个相似的事例。

种;因此这只雄中国鹅的魅力似乎在雄普通鹅之上。再举一个例子:休伊特先生说,有一只圈养的雌野鸭,"同雄野鸭交配繁育了几年之后,因我把一只雄针尾鸭放入水中,她立刻就把雄野鸭甩掉了。这是一个一见钟情的事例,因为她在新来者的周围游来游去,爱抚备至,尽管雄针尾鸭对此感到惊奇,并厌恶她主动表示的热情。从此以后,她就把原来的配偶忘掉了。翌年春天,雄针尾鸭接受了雌野鸭的献媚,它们同巢而居并产生了七八只小鸭。"

在若干这等场合中,除了单纯的新奇之外,还会有什么魅力呢,对此我们甚至无法进行猜测。然而色彩有时会起作用;因为按照贝希斯坦的材料,要使黄雀和金丝雀产生杂种,最好的办法是选择同样色彩的这两种鸟,把它们放在一起。詹纳·韦尔先生把一只雌金丝雀放进他的鸟舍,那里原来已有雄朱顶雀、雄金燕雀、雄黄雀、雄金翅雀、雄欧洲苍头燕雀以及其他种类的雄鸟,其目的是为了看看她选择何者;毫无疑问,当天她就选定了金翅雀,与之交配并产生了杂种后代。

雌鸟选中同种的某一雄鸟并与之交配的事实,似不及我们刚才看到的异种间所发生的这种情况更容易吸引我们的注意。前一情况最适于在家养的或圈养的鸟类中进行观察;但这些鸟类由于高水平的饲养而吃得过饱,它们的本能有时受到了损害。关于后面那种情况,我可举出有关鸽子、尤其是鸡的充分证据,但无法在此述及。上述某些杂种组合也许可用受损害的本能加以说明;但在许多这种场合中,那些鸟类是允许自由地生活于大水塘中的,所以没有理由设想它们会由于高水平的饲养而受到了不自然的刺激。

关于自然状况下的鸟类,每个人最初和最明显的设想是,雌鸟在繁殖季节接受她可能遇到的第一个雄鸟;但是,由于雌鸟几乎总是被许多雄鸟所追求,所以她至少有实行选择的机会。奥杜邦——我们必须记住他曾长期在美国的森林中对鸟类进行观察——并不怀疑雌鸟审慎地选择配偶;例如,当他谈到一只啄木鸟时,说道:这

种雌鸟有六只华丽的追求者，它们不断作出奇异的表演，“直到雌鸟对某个雄鸟表示了明显的偏爱而后已。”红翼椋鸟的雌者同样被若干雄者所追求，“等到它们都变得疲乏之后，雌者才落下来接受它们的求爱并迅速作出选择。”他还描述过几只雄夜鹰如何屡屡以惊人的速度从空中急速下降，而后突然旋转，这样便发生一种独特的声响；“但雌鸟一经作出选择，其他雄鸟就全被赶走了。”美国有一种秃鹫，其雌雄二者常有八只、十只或更多只在伐倒的木材上聚会，“表示其彼此求悦的最强烈愿望，”几经爱抚之后，每只雄鸟便偕其配偶飞去。奥杜邦同样仔细观察过成群的野生加拿大雁并对其求爱的滑稽表演做过图解描绘；他说，以前有过配偶的雁“早在一月就开始重新进行求偶，而其他未曾有过配偶的雁则每天要花数小时去争斗和献媚，直到所有的鸟似乎对各自的选择都感满意为止，以后，它们虽然仍聚集在一起，但任何人都可容易地看出它们是在小心翼翼地保持其配偶。我也观察过越是年长的鸟其求爱序曲就越短。那些独身的雄者和老处女，无论是处于抱恨之中或是不在意那种喧闹的搅扰，而静静地走到一旁，卧于远离其余诸鸟的地方。”①

现在让我们转来看看家养和圈养的鸟类，我将从我了解得不多的有关家鸡求偶的情形开始。我曾收到休伊特先生和特格梅尔先生关于这个问题的长信，并还收到过已故布伦特先生一篇将近完成的论文。这几位先生由于他们已发表的著作而闻名于世，每个人都会承认他们是细心而有经验的观察家。他们都不相信雌鸟偏爱某些雄鸟是由于后者羽衣美丽的缘故；但必须对这些鸟类长期被养于人为状态下的情况做些考虑。特格梅尔先生相信一只雄斗鸡虽被刈掉垂肉，拔掉颈羽，以至容貌毁损，但它仍会像一只保持着全部自然装饰的雄者那样容易地被雌者所接受。然而，布伦特先

① 奥杜邦《鸟类志》，第1卷，191、349页；第2卷，42、275页；第3卷，2页。

生承认，雄鸟的美丽大概有助于刺激雌鸟；而雌鸟的默从也是必要的。休伊特先生认为雌雄二者的结合决不是单纯碰巧发生的，因为雌者几乎总是挑选精力最旺盛、最好斗而且最勇敢的雄者；因此，正如他说的，"如果一只健康良好而有力的雄斗鸡在那个地点活动，要想进行纯种繁育几乎是无效的，因为，几乎每一只雌鸡当离开鸡棚时，都会前去找那只雄斗鸡相会，即使雄斗鸡实际上可能不把和雌鸡变种相同的雄鸡赶走，也是如此。"布伦特先生向我描述说，在正常情况下家鸡的雄者和雌者似乎依靠某些姿势而达到相互了解。但雌鸡对幼小雄鸡的过份殷勤，乃常避之。老母鸡和性情好斗的母鸡，正如同一位作者告诉我的，不喜欢陌生的雄鸡，而且她在被狠狠打得顺从之前，是决不屈服的。然而，弗格森描述过一只好争吵的母鸡如何被一只上海雄鸡温存的求爱所征服。[①]

有理由相信雌鸽和雄鸽都喜欢和同品种的鸽子交配；普通家鸽对所有高度改良的品种都不喜欢。[②] 哈里逊·韦尔先生最近听一位可信赖的观察家说，他饲养蓝色的鸽，这种鸽把所有其他颜色的变种，诸如白的、红的和黄的，全都赶走；另一位观察家也说过，有一只暗褐色的雌信鸽经过反复试验之后，还是不能同一只黑色雄鸽相配，但同一只暗褐色的雄鸽马上就配上了。此外，特格梅尔先生养过一只雌蓝色浮羽鸽，她顽固地拒绝和同品种的两只雄鸽交配，这两只雄鸽曾连续和雌鸽共同关在一起达数周之久；但一放出去，雌鸽马上就接受了向它提供的第一只雄蓝色龙鸽。由于它是一种有价值的鸽子，所以把雌鸟和一只银色（即很淡的蓝色）的雄鸽在一起关了许多星期，最后她还是和这只雄鸽交配了。尽管如此，就一般规律而言，羽色对于鸽的交配似乎没有多大影响。特格梅尔先生根据我的请求，把他养的一些鸽子染上了洋红，但它们并

① 《稀有和获奖的家禽》(Rare and Prize Poultry)，1854年，27页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，103页。

没有引起其他鸽子的过多注意。

雌鸽偶尔也会对某些雄鸽感到强烈憎恶，而无任何明显原因。例如，积有45年以上经验的包依塔和考尔比说，"当一只雌鸽厌恶一只被弄来和她交配的雄鸽时，尽管雄鸽燃起了爱情的火焰，尽管喂以白燕米和大麻仁以增加其情欲，尽管把它们关在一起达半年至一年之久，这只雌鸽还是拒绝了雄鸽的求爱。它的殷勤、它的挑逗、它的回旋表演、它那温柔的咕咕叫声，所有这一切都不能引起她的喜爱，也不会使她激动；雌鸽气鼓鼓地蜷缩于笼子的一角，除了饮水和进食以及对雄鸽的纠缠不休而狂怒的时候，它总是蹲在那里不动。"① 另一方面，哈里逊·韦尔先生亲自观察过而且听几位养鸽人说过：一只雌鸽偶尔会强烈爱上一只特殊的雄鸽并且为着它而抛弃了原来的配偶。另一位富有经验的观察家里德尔说，② 有些雌鸽性情放荡，它们几乎对任何所遇到的雄鸟的喜爱皆胜过对其原有配偶的喜爱。某些好色的雄鸽，被我们英国的鸟类玩赏家称为"花花鸟"的，是从事风流艳事的能手，以致必须把它们关起来以免去捣乱。

按照奥杜邦的材料，美国的雄野火鸡"有时会向家养的雌鸡求爱，一般都会受到她们的欢迎。"因此，在野生雄鸡和家养雄鸡之间母鸡们显然喜欢前者③。

这里还有一个更奇妙的事例。赫伦爵士曾大量繁育过孔雀，关于它们的习性，他保存有多年的记载。他说，"雌孔雀常常很偏爱一只特殊的雄孔雀。所有她们都非常偏爱一只老的雄斑孔雀，有一年

① 包依塔和考尔比，《鸽类》，1824年，12页。吕卡(Lucas)，《自然遗传的特点》(Traité de l'Héred. Nat.)，第2卷，1850年，296页)亲自观察到有关鸽类的几乎同样事实。

② 《鸽的培育》(Die Taubenzucht)，1824年，26页。

③ 《鸟类志》，第1卷，13页。关于同样的效果，参阅布赖恩特(Bryant)博士的意见，见《艾伦编著的佛罗里达的哺乳类和鸟类》(Allen's Mammals and Birds of Florida)，344页。

它被关了起来，但仍可以看到，这些雌孔雀经常聚集在这只雄孔雀的铁丝笼旁边，而且不许一只黑翼雄孔雀去碰它们。到了秋天，这只雄斑孔雀被放出来了，于是最老的雌孔雀马上向它求爱并获得了成功。翌年，这只雄斑孔雀被关进一个马厩，这时，雌孔雀就全向那只雄孔雀的一个竞争对手求爱了"①。这只竞争对手乃是雄黑翼孔雀，在我们看来，它比普通孔雀更美丽。

利希滕施泰因是一位优秀的观察家，而且有极好的机会在好望角进行观察，他向鲁道菲保证说，雄黑羽长尾鸟在生殖季节饰有长尾羽，如果长尾羽脱落后，雌鸟就会同它脱离关系。我想他所观察的这种鸟类一定是圈养的②。这里还有一个近似的例子；维也纳动物园主任耶格尔博士说③，一只雄白鹇战胜了所有其他雄鹇而成为雌鹇所接受的爱侣，可是其羽饰弄坏之后，它的位置马上就被一只竞争对手顶替了，后者占了上风后把整个雌群带走了。

已经表明色彩对鸟类的求偶是何等重要，因此下述事实值得注意：鲍德曼先生，一位多年在美国北部从事鸟类收集和考察工作的著名人士，在其广泛的经历中从未见过一只白变鸟同另一只鸟相配的；虽然他有机会去观察属于若干物种的白变鸟④。简直不能肯定，白变鸟在自然状况下不能繁育，因为它们在圈养条件下能够极其容易地进行繁殖。因此，看来我们必须把它们没有相配这一事实归因于它们遭到了其正常色彩的同伙所拒绝。

---

① 《动物学会会报》，1835年，54页。斯克莱特先生认为黑翼孔雀是一个独特的物种，并命名为 *Pavo nigripennis*；但在我看来这些证据不过表明它只是一个变种而已。

② 鲁道菲，《人类学研究》(Beyträge zur Anthropologie)，1812年，184页。

③ 《达尔文学说及其在道德和宗教上的位置》(Die Darwinische Theorie, und ihre stellung zu Moral und Religion)，1869年，59页。

④ 这段叙述由利思·亚当斯(A. Leith Adams)先生所提供，参阅他的《田野和森林散记》(Field and Forest Rambles)，1873年，76页，这同他自己的经验是一致的。

雌鸟不仅实行选择，而且在少数场合中，还追求雄鸟，或者甚至为占有雄鸟而互相争斗。赫伦爵士说，关于孔雀，最先的求爱总是由雌者进行的；按照奥杜邦的材料，野火鸡的年长雌者也是如此。关于雷鸟，当雄者在一个聚会地点昂首阔步行进时，雌者则在其周围飞来飞去，吸引雄者注意①。我们知道，有一只养驯的野鸭经过长时间的求偶后，终于将一只不情愿的雄针尾鸭勾引上了。巴特利特先生相信虹雉属和其他许多鹑鸡类的鸟一样，天生是一雄多雌者，但不能将两只雌者和一只雄者关在同一个笼里，因为这样她们会激烈相斗。下述有关竞争的例子更加令人惊奇，因为这是一个叙述红腹灰雀的例子，而红腹灰雀通常是终身配偶的。詹纳·韦尔先生把一只颜色暗淡而丑陋的雌鸟引进了他的鸟舍，她马上向另一只已有配偶的雌鸟发动了如此无情的攻击，以致不得不把后者隔离开。新来的雌鸟尽其爱之能事，最后获得了成功，因为她和那只雄鸟交配了；但过了一段时间，雌鸟受到了公正的报应，因为，当其好斗性停息后，她就被原来的雌鸟取而代之，于是雄鸟舍弃了新欢而同旧偶重归于好。

在所有正常场合中，雄鸟对雌鸟是如此热切以致它会接受任何一只雌鸟，就我们所能判断的来说，雄鸟不会选来选去；但是，如我们今后将要看到的，在少数某些类群中这一规律显然还有例外。关于家养的鸟类，我听说过的仅有一例表明，雄者对某些雌者有所偏爱，根据休伊特先生高度权威的材料，雄鸡喜爱幼年母鸡胜于喜爱老母鸡。相反地，凡雄雉和普通母鸡杂交奏效者，休伊特先生相信，雄雉总是选择老母鸡。雄鸡似乎丝毫不受雌鸡色彩的任何影响，而“其爱情是反覆无常”②；由于某种莫明其妙的原因，雄鸡对

① 关于孔雀，参阅赫伦爵士的著述，见《动物学会学报》，1835年，54页，以狄克逊牧师的《有装饰的家禽》，1848年，8页。关于火鸡，见奥杜邦的上述著作，4页；关于雷鸟，参阅劳埃德的《瑞典的猎鸟》，1867年，23页。

② 休伊特先生的论述，在《特格梅尔的家禽之书》（1866年，165页）中引用。

某些母鸡表示了断然的憎恶，繁育者虽想尽力矫正这种毛病，也是枉然。休伊特先生告诉我说，有些母鸡即使对本种的雄者也毫无魅力，因此，它们可能同几只雄鸡在整个繁殖季节都被关在一起，但所下的四五十个蛋无一受精。另一方面，埃克斯冲说，长尾鸭"的某些雌者据说远比其他雌者受到更多的追求。确实可以常常看到一只雌者被七八只雄者所包围。"我不清楚这一叙述是否可靠，但当地猎人射杀这些雌者是为了把它们剥制成媒鸟的①。

关于雌鸟对特殊雄鸟感到偏爱，必须记住，我们只能用类比方法来判断雌鸟实行选择。如果有一位另一星球的居民看见了许多年青乡下人在一处集市上追求一位漂亮姑娘并为她而争吵，就像鸟类在一处聚会地点所做的那样，那么，他将根据追求者热心地取悦于姑娘和显示他们的华丽服饰来推论这位姑娘有选择的能力。那么对鸟类来说，实行选择的证据是这样的：它们具有敏锐的观察能力，而且对色彩和声音似乎都有某种审美力。有一点是肯定的，即，雌鸟由于未知的原因偶尔会对特殊雄鸟表示最强烈的憎恶和偏爱。如果雌雄二者在颜色或其他装饰上有所差异，除了很少例外，总是雄鸟装饰得更美，无论这等装饰是永久性的或只是在生殖季节暂时表现的，都是一样。它们在雌鸟之前孜孜不倦地炫耀其各种装饰，发出鸣声并进行奇特的表演。即使武装良好的雄鸟在大多数场合中也是具有高度装饰的，虽然它们的成功完全是按战争的法则来决定的；而且它们获得这些装饰乃是以某些能力的损失为代价的。在其他场合中，装饰物的获得则是以增加来自猛禽和猛兽的危害为代价的。各个物种的许多雌雄个体集合于同一地点，而且它们的求偶是一件费时甚久的事情。由此看来，甚至有理由猜想同一地区内的雄者和雌者在相互取悦和交配方面并非总是成功的。

那么，根据这些事实和考察我们应做出怎样的结论呢？雄鸟以

① 在劳埃德的《瑞典的猎鸟》(345 页)中引用。

如此浮夸的姿态和以如此激烈竞争的手段来显示其魅力，难道这是毫无目的的吗？我们相信雌鸟会实行选择并接受最使她喜爱的那些雄鸟的求爱，难道是不正确的吗？雌鸟大概不会有意识地进行周密考虑；但那些最美丽的、或最善于鸣叫的、或最会献媚的雄鸟最能使雌鸟激动，或最能吸引她。无须设想雌鸟会研究色彩的每一条纹或每一斑点，譬如说，无须设想雌孔雀会赞赏雄孔雀华丽尾巴上的每个细节——雌者所受到的大概只是一般影响而已。尽管如此，当听到雄锦雉多么仔细地显示其优美的初级翼羽并将其具有眼斑的羽饰竖起到恰当位置以达到充分的效果之后；或者当听到雄金翅雀如何交替地显示其金光闪闪的翅膀之后，我们就不应过于肯定地认为雌鸟不会注意到美的每个细节。如上所述，我们只能根据类比方法来判断雌鸟是实行选择的；而且鸟类的心理能力同我们的并无根本差异。根据这种种考察，我们可以断言，鸟类的交配并非完全靠机会；在正常情况下那些被接受的，是以其种种魅力最能取悦和引起雌鸟激动的雄鸟。如果这一点得到承认，那么在理解雄鸟如何逐渐获得其种种装饰方面就没有太多困难了。一切动物都表现有个体差异，而且，正如人类靠着选择那些他认为最美丽的个体就能改变其家养的鸟类那样，雌鸟经常地或者甚至偶尔地偏爱那些魅力较强的雄鸟，几乎肯定也会导致雄鸟的改变；而这种改变只要同物种的存在不相矛盾，则几乎可以随着岁月的推移而扩大到任何程度。

鸟类的变异性尤其是其第二性征的变异性

变异性和遗传性是选择工作的基础。家养鸟类肯定发生了重大变异，而且它们的变异肯定是遗传了的。鸟类在自然状况下发生

了变异而成为不同的族，这一点现在已得到了普遍承认①。变异可分为两类；一类似乎是自然发生的，我们迄今还不能了解其原因，另一类同周围环境有直接关联，因此同一物种的一切或几乎一切个体所发生的变异是相似的。艾伦先生对后一类情况曾进行过仔细观察②，他指出美国鸟类的许多物种愈往南方其色彩愈逐渐加强，愈往西方内陆干旱平原其色彩则愈变淡。其雌雄二者似乎一般都受到了相等的影响，但有时某一性所受到的影响比另一性所受到的大。这一结果同下述看法并不矛盾，即，鸟类色彩主要是由于在性选择作用下的连续变异的积累；因为，甚至在雌雄两性已发生了重大分化之后，气候还可能对双方产生相等的影响，或者因某种体质差异对某一性产生的影响比对另一性大。

同一物种诸成员之间在自然状况下所发生的个体差异是每个人都承认的。强烈显著的突然变异则属罕见；如果这等变异是有益的，它们是否会常常通过选择而被保存下来并传递给后代，还是一

① 按照布拉西乌斯(Blasius)博士的材料(《彩鹮》，第 2 卷，1860 年，297 页)，在欧洲繁殖的有 425 个真实的物种，此外还有 60 个类型常常被看成为独特的物种。关于后者，布拉西乌斯认为只有 10 个类型确有疑问，而其余 50 个类型则应归入亲缘关系最近的物种；不过这表明了我们欧洲的某些鸟类必定有相当大的变异量。博物学家们对于一点还肯定不下来，即某些北美鸟类是否同其相应的欧洲物种有区别而列为不同的物种。还有许多北美类型不久以前被视为不同的物种，现在则认为不过是地方族而已。

② 《弗罗里达东部的哺乳类和鸟类》，以及《堪萨斯鸟类考察》等。尽管气候对鸟类的色彩有影响，但仍难说明栖息于某些地方的几乎所有物种何以是暗色的或黑色的，例如赤道下的加拉帕戈斯群岛，巴塔戈尼亚(Patagonia)温暖的广阔平原，以及像埃及那样的地方(参阅哈茨霍恩先生的论述，见《美国博物学家》1873 年，747 页)。这些地方是开阔的，为鸟类提供的蔽荫处很少；但具有明亮色彩的物种的缺如是否能用保护原理加以解释，似乎尚属可疑。因为彭巴斯草原虽为绿草所覆盖，却是同等开阔的，而鸟类也面临着同等的危险，然而许多具有鲜艳和显著色彩的物种在彼此却是常见的。我有时猜想，上述地方的景色普遍都是暗淡的，这是不是会影响那里的鸟类欣赏鲜明色彩。

个疑问①。尽管如此，举出少数我所能搜集的主要有关色彩的例子还是值得的，——单纯的白化和暗化则除外。高尔德先生承认只有少数变种存在，乃是人所共知的，因为他把很轻微的差异评价为物种的差异；然而他还说②，靠近波哥大，阔嘴蜂鸟属的某些蜂鸟分为两三个族或变种，它们彼此的差异在于尾羽的颜色——“有的整个尾羽呈蓝色，而其他只有八支中央尾羽的尖端呈美丽的绿色。”在这个场合以及下述一些场合中，似乎没有观察到中间的级进。有一种澳大利亚长尾鹦鹉，只有某些雄者的“大腿呈猩红色，而其他雄者的大腿则为草绿色。”另外还有一种澳大利亚长尾鹦鹉，“它们某些个体的翼覆羽上有一鲜黄色横带斑，而其他个体的同一部位则为红色。”③ 在美国，猩红色的红灰雀④的某些少数雄者“在较小的翼覆羽上有一条美丽的红光闪闪的横带斑”⑤；但是，这种变异比较罕见，因此它只有在特殊有利环境下才能通过性选择而被保存下来。在孟加拉，蜂鹰或在其头顶上有一个小形的痕迹羽冠，或完全没有；然而，如果不是印度南部的这同一物种具有“由若干渐次变化的羽毛所形成的一个十分显著的后头羽冠”，⑥，那么上述

---

① 《物种起源》第5版，1869年，104页。我一向见到构造上罕有的和极显著的偏差，值得称为畸形的，很少能够通过自然选择被保存下来，甚至高度有利的变异的保存在某种程度上也决定于机会。我还充分理解单纯的个体差异的重要性，这引导我如此强烈地主张人类无意识选择的重要性，其结果是各个品种的最有价值的个体得到保存，而不需要人类事先有任何改变这个品种性状的意图。但一直到我读了《北英评论》上所刊载的一篇有水平的文章以前（1867年3月，289页及以后各页），我没有看出单独个体所发生的变异，无论是轻微的或强烈显著的，被保存下来的机会是何等之多；这篇文章对我极为有用。

② 《蜂鸟科导论》，102页。

③ 古尔德，《澳大利亚鸟类手册》，第2卷，32、68页。

④ *Tanagra* 来自南美图皮印第安语，意为颜色鲜明的鸟，这种鸟是中南美产的一个灰雀类。——译注

⑤ 奥杜邦，《鸟类志》，1838年，第4卷，389页。

⑥ 杰尔登，《印度的鸟类》，第1卷，108页；以及布莱思先生的论述，见《陆和水》，1868年，381页。

那种非常轻微的差异就不值得注意了。

下述事例在某些方面更为有趣。渡鸟的一个黑白斑变种只限于费罗群岛才有，其头部、胸部、腹部以及翼羽和尾羽的一部分均呈白色。这个变种在该处并不少见，因为格拉伯在访问那里期间曾见过 8 至 10 只活标本。尽管这个变种的性状不十分稳定，却仍然被几位著名的鸟类学家定为一个独特的物种。这种黑白斑鸟受到岛上其他渡鸟大吵大闹的追求和迫害，这一事实是使布吕尼赫断定它们是一个独特物种的主要原因；但现在已经知道这是一个错误①。这个事例同刚刚举出的下述事例似乎是相似的，即，白化的鸟类由于遭到其同伙的拒绝而不能交配。

在北方海域的各个不同部分都发现有普通海雀的一个显著变种，而在费罗群岛，据格拉伯估计，每 5 只鸟中就有一只发生了这样变异。其特征②为眼睛周围有一纯白色的圈，从白圈向后伸出一条弯曲的白色窄线条，长达 1.5 英寸。这个显著的特征使几位鸟类学家把这种鸟列为一个独特的物种，命名为 *U. lacrymans*，但现在已弄清它不过是一个变种而已。它常和普通种类交配，然而从未见有中间级进；这也不足为奇，因为那些突然发生的变异，如我在别处所指出的③，往往是不变地传递下去，要不就是完全不传递。于是，我们看到同一物种的两个不同类型可在同一地区共存，我们不能怀疑如果其中某一个类型具有超出另一个类型的任何优势，则它就会迅速地成倍增殖起来而把后者排斥掉。例如，如果黑白斑的雄渡鸟不是受其同伙的迫害，而是能够高度吸引黑色雌渡鸟（像上述黑白斑雄孔雀那样），那么它们的数目就会迅速地增加起来。这大概就是性选择的一个例子。

---

① 格拉伯，《法鲁旅游日记》(Tagebuch Reise nach Färo)，1830 年，51—54 页。麦克吉利夫雷，《英国鸟类志》，第 3 卷，745 页。《彩鹳》，第 5 卷，1863 年，469 页。

② 格拉伯，同上著作，54 页。麦克吉利夫雷，同上著作，第 5 卷，327 页。

③ 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，92 页。

就同一物种一切成员所共有的轻微个体差异而言，不论其程度大小如何，我们有各种理由可以相信这等差异对于选择工作是最重要的。第二性征是显著易于变异的，无论对野生的还是对家养的动物来说，都是这样[①]。还有理由相信，如我们在第八章中所看见的那样，雄者比雌者容易发生变异。所有这等偶然发生的情况都是高度有利于性选择的。这样获得的性状究竟是传递给雌雄中的一性还是传递给雌雄两性，如我们将在下一章看到的，乃决定于遗传形式。

鸟类雌雄二者之间的某些轻微差异，究竟是单纯地由于变异受到了限于性别的遗传，而不借助于性选择；还是这等轻微差异通过性选择的作用而被扩大了，对此难于形成一种见解。我在此没有论及雄鸟显示华丽羽彩和其他装饰物而且雌鸟在这方面也稍有表现的许多事例，因为这几乎肯定是由于最先由雄鸟获得的性状或多或少地传递给雌鸟了。但关于某些鸟类，譬如说，其雌雄二者的眼睛在色彩上有轻微差异者，我们又该怎样解释呢[②]？在某些场合中，雌雄二者的眼睛差异显著；例如黑颈鹳属的鹳，其雄者的眼睛为淡黑褐色，而雌者的眼睛则为橙黄色；我听布莱思先生说[③]，雄犀鸟的眼睛呈强烈的艳红色，而雌者的眼睛则为白色。关于犀鸟，其雄者的头羽后缘以及喙部突起上的一道条纹均呈黑色，而雌者并不如此。我们可否假设雄鸟的这等黑色标志以及眼睛的艳红色彩系通过性选择而被保存下来或被扩大的呢？这是很有疑问的；因为巴特利特先生在伦敦动物园中向我说明，雄犀鸟嘴的内侧为黑色而雌犀鸟嘴的内侧则为肉色；至于它们的外貌或它们的美并不

---

① 关于这几点，再参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，253页；第2卷，73、75页。

② 譬如说，关于管足鸟(*Podica*)和董鸡(*Gallicrex*)的虹彩，参阅《彩鹳》，第2卷，1860年，206页；和第5卷，1863年，426页。

③ 再参阅杰尔登的《印度的鸟类》，第1卷，243—245页。

受这样影响。我在智利①见过一只新域鹫约一岁左右，其眼睛虹彩为暗褐色，到了成年，其雄者的眼睛虹彩就变为黄褐色，而雌者的则变为鲜红色。这种鹫的雄者还有一个小而长的铅色肉冠。许多鹑鸡类的肉冠都是高度富有装饰性的，而且在求偶活动中其色彩变得鲜艳；但是，鹫的铅色肉冠在我们看来一点也没有装饰性，对此我们又该作何解释呢？关于各种其他性状，也可以提出同样的问题，例如鸿雁喙基上的瘤状物，在雄者就比在雌者大得多。对于这些问题均无法作出确切的回答；但是，我们在假设那些瘤状物以及各种肉质附器对雌者不会有吸引力时，务必要慎重；如果我们想到未开化人的种种可怕的毁形风俗——面部的深刻伤痕使肌肉突出而成为若干肉疙瘩，用细枝或骨头穿透的鼻壁，大大拉开的耳孔和唇孔——全都作为装饰而受到赞赏，我们就知道为什么在做出上述假设时一定要慎重了。

雌雄二者之间无关紧要的差异，诸如上面所举出的那些，不管是否通过性选择而被保存下来，这等差异以及其他所有差异最初一定是由变异法则来决定的。根据相关发育的原理，羽毛常常在身体的不同部位或在全身按照同样的方式发生变异。我们看到家鸡的某些品种在这方面提供了很好例证。所有这些品种的雄者，其颈部和腰部的羽毛都延长了，因而被称为长绒羽；那么，当雌雄二者都获得了作为该属一种新性状的顶结时，雄者头部羽毛则变为长羽状，这显然是由于相关原理起的作用所致；而雌者头部羽毛仍保持正常形状。构成雄者顶结的长羽在色彩上也常常同颈部和腰部的长羽相关，例如，我们把金斑和银斑波兰品种的这等羽毛，以及把霍丹鸡②和V-形肉冠鸡等品种的这等羽毛，加以比较，就可看出上述情形。关于某些生活于自然界的物种，我们可以观察到这等

① 《贝格尔号舰航海中的动物学》，1841年，6页。
② 法国的地方品种。——译注

相同的羽毛在色彩上完全一样的相关，例如华丽的金雉和云实树雉的雄者就是如此。

各个单独羽毛的构造一般会致使羽色的任何变化成为对称的；我们在家鸡的花边品种、亮斑品种以及条纹品种中可以看到这种现象；根据相关原理，全身羽毛常常是按照同样方式着色的。因此，我们不必费多大劲就可育出羽色同自然物种一样对称的品种来。花边品种和亮斑品种的羽毛边缘的颜色，其界限是截然分明的；但是，我用一只带有绿色光泽的雄西班牙黑鸡同一只白色雌斗鸡杂交，育成了一个杂种，这个杂种的全身羽毛全是黑中略带微绿，只有每根羽毛的尖端是白中略带微黄；不过在每根羽毛白色顶端和黑色基部之间有一个弯曲而对称的暗褐色区域。在某些事例里，羽轴决定着羽色的分布范围；例如，用同一只雄西班牙黑鸡和雌银斑波兰鸡杂交所育出的一只杂种鸡，其体部羽毛的羽轴及其两侧的一窄条部位全是黑中略带微绿，它又被一个有规则的暗褐色区域所环绕，其边缘则系白中略带微褐。在这些事例中，我们看到羽毛的颜色都是对称的，就像许多自然物种的情形那样，这等对称的颜色使其羽衣增添了无限的华丽。我还注意过普通家鸽的一个变种，其翼部带斑对称地环以三种鲜明色调的羽毛，而不像其亲种那样，这等带斑只是单调地在石板青的底色上呈现出黑色而已。

鸟类有许多类群，其若干物种的羽色虽不相同，但全都保持着一定的点斑、块斑或条斑。一些鸽的品种也有类似的情况，它们通常都保有两条翼带斑，尽管带斑的颜色可以是红、黄、蓝、白、黑，而羽毛的其余部分则呈现某种完全不同的色彩。这里还有一个更为奇妙的事例：某些斑记的颜色虽然同自然物种的这等斑记的颜色差不多完全相反，但这等斑记仍被保持着；原鸽有一条蓝色的尾，其中两根外尾羽的外部羽瓣位于末端的那一半呈白色；于是出现了一个亚变种，它的尾部不是青色，而是白色，而且原种呈白色的

那一部分显然变为黑色的了①。

鸟类羽衣眼斑的形成及其变异性

装饰物之美没有过于多种鸟类羽毛上的、某些哺乳类毛皮上的、爬行类和鱼类鳞片上的、两栖类皮肤上的、许多鳞翅类和其他昆虫翅膀上的眼斑，因此它们值得特别予以注意。一个眼斑是由一个斑点围以另一种颜色的圆环所构成的，犹如瞳孔位于虹彩之内一样，但其中央的斑点往往被附加的若干同心色带所环绕。孔雀尾覆羽上的眼斑以及孔雀蛱蝶翅上的眼斑向我们提供了一个人所周知的例子。垂门先生给过我一份描述一种产于南非的蛾的材料，它同英国的天蚕蛾有亲缘关系，这种蛾每张后翅的全部表面差不多被一个壮丽的眼斑所占满；这个眼斑含有一黑色中心，其中有一个半透明的新月形斑，其外挨次围以赭黄的、黑的、赭黄的、桃红的、白的、桃红的、褐的以及白的色带。虽然我们还不了解这等异常美丽而复杂的装饰物的发展步骤，但其过程似甚简单，至少对昆虫类来说是这样；因为，正如垂门先生所函告的那样，“在鳞翅类中作为单纯斑记或色彩的诸性状，没有一种像眼斑那样不稳定的，无论其数目还是其大小都是如此。”华莱士先生最先使我注意到这个问题，他给我看过英国的一种鳟眼晾的一套标本，这套标本显示了由一个简单的小黑点到一个色调优美的眼斑之间有大量的级进。在同一科中还有一种产于南非的莉达蝶。其眼斑甚至更容易变异。它的一些标本（图 53，A）的翅膀上表面大部分作黑色，其中有不规则的白色斑记；从这种状态到一个相当完善的眼斑（A^1）之间，可以追踪出一套完整的级进这个完善的眼斑乃是由不规则色斑的收缩

① 贝希斯坦，《德国博物志》(Naturgeschichte Deutschlands)，第 4 卷，1795 年，31 页，关于“僧侣鸽”的一个亚变种之论述。

而形成的。在另一套标本中，从非常小的一些白斑点环以勉强看得见的黑线这种状态(B)到一个完全对称的大眼斑(B¹)①之间也可以找出它们的级进。在与此相似的一些场合中，一个完善眼斑的发展并不需要一个变异和选择的长过程。

关于鸟类以及其他许多动物，根据亲缘相近的物种比较的结果，似乎圆斑的产生常常是由于条纹的断裂和收缩。就红胸角雉来说，其雌者身上模糊不清的白线正是相当于雄者身上那些美丽的白斑②；在锦雉的雌雄二者身上也可观察到多少类似的情况。不论其形成原因如何，它的外观支持了下述信念，即，从一方面来看，一个黑点往往是因有色物质从周围区域向中心点收缩而成，因而其周围区域的颜色因此变淡；从另一方面来看，一个白斑则往往是因有色物质从一中心点被驱散而成，因而其周围区域由于有色物质的集聚而加深。无论在那一种场合中，其结果都会导致一个眼斑的形成。这等有色物质的量大概差不多是固定的，但它既可向心地也可离心地重新分布。普通珍珠鸡的羽毛提供了一个良好的例子，表明白色的斑点环以较暗的色带；凡是在白色斑点既大而彼此接近的地方，则周围的各暗色带就会融合在一起。在锦雉的同一根翼羽上既可观察到黑色斑点为一淡色带所环绕，又可观察到白色斑点为一暗色带所包围。因此，一个最基本状态的眼斑的形成看来是一件简单的事情。至于进一步还要经过那些步骤才能产生那些更为复杂的、依次环以许多层色带的眼斑，我不敢妄加评说。但是，不同颜色的家鸡所产生的杂种，其羽毛具有色带，并且鳞翅类昆虫的眼斑具有异常大的变异性，这两种情况可以引导我们做出下列结论：眼斑的形成并不是一个复杂的过程，而是决定于相邻组织的性质

① 这幅木刻系由特里门先生根据一幅美丽的绘图为我制成的，谨此致谢；再参阅他对这种蝴蝶翅膀的色彩和形状变异的非常变异量的描述，见其所著《非洲和澳洲的蝶类》(Rhopalocera Africae Australis)，186页。

② 杰尔登，《印度的鸟类》，第3卷，517页。

所发生的某种轻微而逐渐的变化。

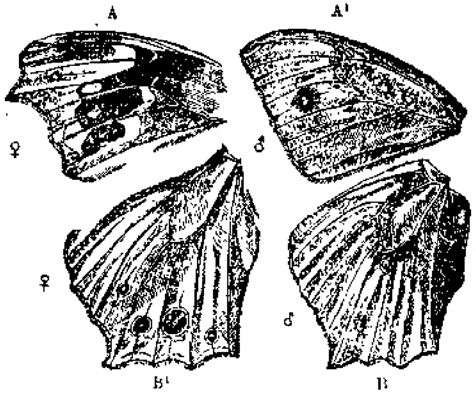


图 53 莉达蝶(*Cyllo leda*, *Linn.*)采自特里门先生的绘图，表明眼斑有极广泛的变异范围。

A. 采自毛里求斯的标本，图示前翅上表面；
B. 采自爪哇的标本，图示后翅上表面；
A¹. 采自纳塔尔的标本，同上。
B¹. 采自毛里求斯的标本，同上。

第二性征的级进

级进的情况是重要的，因为它向我们表明了高度复杂的装饰物可由一些连续的小步骤而获得。为了发现任何现存鸟类的雄者获得其华丽的色彩或其他装饰物所经过的实际步骤，我们就应该追溯其绝灭的祖先的悠久系谱；但这显然是不可能做到的。然而，一般我们可以用比较同一类群所有物种的方法——如果它是一个大类群的话，找到一点头绪；因为它们之间有些大概还会保存、至

少部分地保存其以往性状的痕迹。在各个类群中固然有一些关于级进的显著事例可举，但为了避免讨论那些繁琐的细节，最好还是对一两个非常典型的事例加以研究，例如孔雀的事例，看看这样是否可以说明这种鸟的装饰经过了怎样步骤而变得如此华丽。雄孔雀之所以引人注目，主要在于其尾覆羽特别长；而尾羽本身并没有延长多少。几乎沿着尾羽全长的尾枝都是分离的或分解的；但许多物种的羽毛以及家鸡和家鸽的羽毛也是如此。这些羽枝向羽干的末端合拢而形成一个椭圆形的圆盘或眼斑，它肯定是世界上最漂亮物体之一。它包含一个闪光的、深蓝色的锯齿状中心，环以一层鲜绿的色带，其外又环以一层铜褐色的宽色带，在这层宽色带外面又环以五层彼此略有不同的闪光的窄色带。在圆盘上有一种微小的性状值得注意；沿着某一同心环带的羽枝或多或少地都缺少小羽枝，所以圆盘的一部分被一个几乎透明的环带所围绕，使它具有一种非常精致完美的外观。不过我在别处也曾描述过[1] 雄斗鸡的一个亚变种，其颈部长羽的变异同上述情形完全相似，具有金属光泽的这种长羽顶端，“由一个对称形状的透明环带把它同其下的羽毛隔开，这个透明环带系由羽枝的无毛部分构成的”。眼斑的蓝黑中心的下缘或底部在羽干线上成深锯齿形。周围的色带同样显露了缺刻甚至破裂的痕迹，如图 54 所示。这些缺刻是印度孔雀和爪哇绿孔雀所共有的，鉴于这等缺刻同眼斑的发展可能有关系，似乎值得特别注意；然而长期以来我未能猜出其意义何在。

如果我们承认逐渐进化的原理，那么在孔雀那特别长的尾覆羽和所有普通鸟类的短尾覆羽之间；还有，在孔雀那壮丽的眼斑和其他鸟类的比较简单眼斑或仅仅是有色的斑点之间，必定有许多体现了每个连续步骤的物种存在过，至于孔雀的所有其他性状亦复如此。让我们通过亲缘相近的鹑鸡类来看一看今天依然存在的

---

① 《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，254 页。

任何级进。团花雉的物种和亚种所栖息的地方同孔雀的原产地相毗邻；它们同孔雀如此相似，以致它们有时也叫做孔雀雉。巴特利特先生也向我说过，团花雉在鸣声和某些习性方面也同孔雀相似。如上所述，其雄者于春季期间，在色彩相对平淡的雌者之前大摇大摆地走来走去，展开并竖起它们的尾羽和翼羽，其上装饰着大量的眼斑。我请读者再看一下前面那幅团花孔雀雉的图（图 51）。拿破仑团花孔雀雉身上的眼斑只限于尾羽才有，其背部呈华丽的蓝色，具金属光泽；这个物种在这些方面都接近于爪哇孔雀。哈德团花孔雀雉有一个特殊的顶结，同爪哇孔雀的顶结多少相似。所有物种的翼眼斑和尾眼斑不是圆的就是椭圆的，这种眼斑含有一个闪光的蓝绿色或紫绿色的美丽圆盘，圆盘的周围环以黑色的边缘。这个黑色边缘在成吉思团花孔雀雉身上逐渐向外变为褐色，镶着淡黄的边，因此这里的眼斑是由各种不同色调的、但不明亮的同心色带环绕着。团花雉另一个显著的性状是它的尾覆羽特别长；因为在某些物种中其尾覆羽为真尾羽的一半长，在另外一些物种中，其长度为真尾羽的三分之二。其尾覆羽就像孔雀那样地具有眼斑。这样，团花雉的几个物种在其尾覆羽的长度、眼斑的环带以及其他一些性状方面都明显地向着孔雀逐渐接近。

尽管有这种接近，但我检查的第一个团花雉的物种几乎使我放弃这方面的探索；因我不仅发现其真尾羽装饰着眼斑——孔雀的真尾羽则完全没有这种装饰，而且其所有羽毛的眼斑都同孔雀的眼斑有根本差异，在团花雉的同一根羽毛上有两个眼斑，各居羽干的一侧（图 55）。因此，我断定孔雀的早期祖先不能和团花雉相似。但随着我的研究继续深入，我观察到某些物种的那两个眼斑彼此挨得很近；在哈德团花雉的尾羽上它们相互接触了；而且这同一物种尾覆羽上的以及马六甲团花孔雀雉尾覆羽上的两个眼斑终于实际上融合在一起了（图 56）。由于融合起来的只是中央部分，因此在上下两端都有一个缺刻，其周围的色带同样也有缺刻。一个简

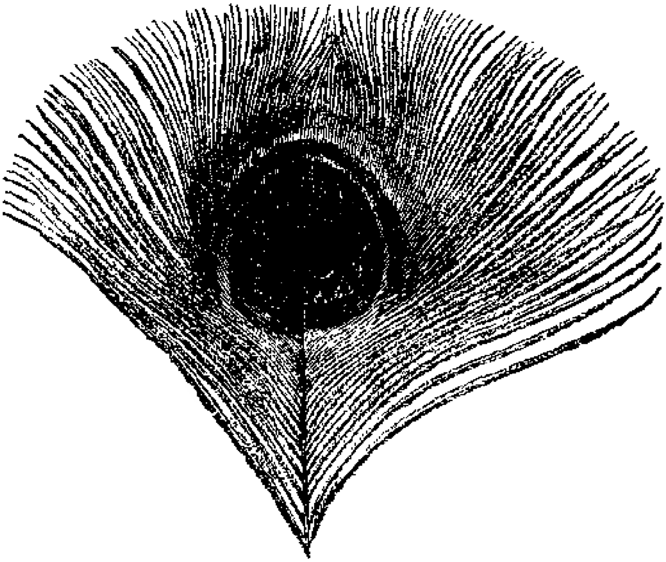


图 54 孔雀的羽毛，约为原大的三分之二，福特(Ford)先生绘。透明的环带以最外面的白色环带代表之，只限于圆盘的上端。

单的眼斑就这样在每根尾覆羽上形成了，虽然它还明显地表现着两个眼斑的来源。这等融合而成的眼斑和孔雀的单个眼斑之间的差异在于前者的上下两端都有缺刻，而不像后者那样只在下端或底端才有缺刻。然而，这种差异并不难于说明；关于团花雉的某些物种，其同一根羽毛上的两个卵形眼斑彼此平行；其他物种(如成吉思团花孔雀雉)的那两个眼斑则向一端收敛；那么这两个收敛的眼斑的局部融合将会在岔开的一端比在收敛的一端明显地留下一个深得多的缺刻。如果这种收敛极其显著而且融合得完全，那么在收敛一端的缺刻就会趋于消失。

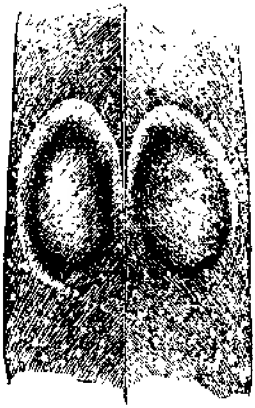


图 55　成吉思团花孔雀雉的尾覆
羽局部，其上有两个眼斑，原大。

有两种孔雀，其尾羽完全没有眼斑，这显然同它们被长的尾覆羽所掩盖有关。在这一点它们同团花雉的尾羽显著不同，大多数团花孔雀雉的尾羽上的眼斑都大于尾覆羽上的眼斑。因此，这引导我对若干物种的尾羽进行了仔细检查，其目的在于发现它们的眼斑是否有任何消失的倾向；使我感到很满意的是，情况似乎正是这样。拿破仑团花雉的中央尾羽在羽干的两侧各有一个充分发达的眼斑；但越靠外边的尾羽其内侧的眼斑就越来越不显著，到了最外边的那根尾羽，其内侧眼斑就只剩下了一个暗影或痕迹。此外，马六甲团花孔雀雉尾覆羽上的那两个眼斑，就像我们已经看到的那样，融合起来了；而且这等尾覆羽特别长，竟达尾羽长度的三分之二，因此在这两方面马六甲团花孔雀雉都同孔雀接近。那么，在马六甲团花孔雀雉中，只有两根中央尾羽有所装饰，每一根中央尾羽有两个色彩明亮的眼斑，所有其他尾羽的内侧眼斑则全消失了。结

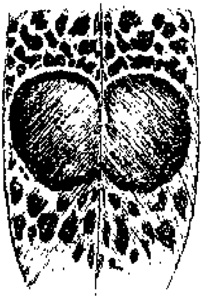


图 56 马六甲团花孔雀雉
(*Polyplectron malaccence*)的尾羽局部,
具有两个眼斑,原大,部分地融合在一起。

果,团花雉的尾覆羽和尾羽在构造和装饰这两方面都很接近于孔雀的相应羽毛。

按照级进原理既然可说明孔雀获得其华丽尾羽所经历的步骤,那么几乎不需要再多谈什么了。如果我们给自己勾画出一个孔雀的祖先,它几乎完全处于一种中间状态,介乎现存孔雀和一种普通鹑鸡类的鸟之间,前者具有大大延长了的并装饰着单个眼斑的尾覆羽,而后者的尾覆羽则是短的,其上仅有某一种颜色的斑点,那么我们将会看到一种同团花雉相似的鸟——这就是说,这种鸟具有能竖起和展开的尾覆羽,其上装饰着两个局部融起来的眼斑,它的尾覆羽特别长,几乎足可以把尾羽掩藏起来,而尾羽上的眼斑已部分地消失了。两个孔雀种的眼斑中心圆盘的缺刻及其周围色带的缺刻都明显地表明它们同这个观点是吻合的,否则这种缺刻

就无法得到解释。团花雉的雄者无疑是美丽的，但从稍远的地方去看，它们的美就无法同孔雀相比了。许多雌孔雀的祖先，在其由来的悠久系统中必定欣赏这等优越性，因为通过对最漂亮雄者的不断选择，它们已无意识地使雄孔雀变成了现存鸟类中的最佼佼者。

锦　雉

另一个可供研究的极好事例乃锦雉翼羽上的眼斑，其色彩浓淡适宜，令人惊异，犹如松松地置于穴中的诸球，因而和普通眼斑有所不同。我想没有人会把这种曾激起许多有经验艺术家赞叹的色调归因于偶然——即有色物质的原子之偶然汇集。如果认为这等装饰物的形成是通过对许多连续变异的选择，而其中没有一种变异打算产生"球与穴"的效果，那么这种说法之不可信，犹如认为拉斐尔所画圣母玛丽亚像是由于对青年艺术家长期连续的乱涂胡抹所进行的选择的结果。为了发现眼斑是如何发展起来的，我们无法追溯其悠久的祖先系统，也无法考察其许多亲缘密切相近的类型，因为它们目前已不复存在了。但幸运的是，某些翼羽足可以给我们提供一个线索，它们可以证明从一个简单的斑点逐渐发展成一个像"球与穴"那样精致完美的眼斑至少是可能的。

具有眼斑的翼羽布满黑色条纹（图 57）或数行黑色斑点（图 59），每根条纹或每行斑点皆自羽干外侧斜趋向下而达于一个眼斑。那些斑点一般延长成一条线而横过其所在的那一行。它们往往汇合起来，使其所在的那一行连成一线——这时便形成了纵条纹——或是横向汇合，即由相邻诸行的斑点汇合起来，这时便形成了横条纹。有时一个斑点会分裂为若干小斑点，它们仍位于其固有的位置。

为方便起见，我们先描述一个形似"球与穴"的完整眼斑，这种眼斑包含一个漆黑的圆环，圆环之内的部分着色浓淡非常适宜，使

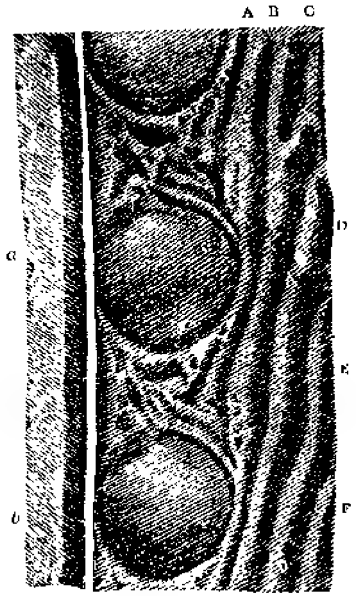


图 57 锦雉次级翼羽的一部分，图示两个完整的眼 a 和 b、A、B、C、D 等乃暗色条纹，斜趋向下各至一个眼斑（羽干两侧的羽瓣尤其是在羽干左侧者，大部分被去掉了）

其恰似一只球。这里刊出的图系由福特先生精巧绘制的，而且雕刻甚佳，不过一幅木刻图是无法显示出原来优美色调的。这个圆环差不多总是略有破裂或中断（见图57），中断之处在上半部的某一点，位于球外白影上方略偏右之处；有时圆环也在右侧靠基部处破裂。这等小破裂具有一种重要意义。圆环靠左上角处总是大大变粗，这里的边缘界限模糊不清，这根羽毛是直竖的，其位置如图所示。在变粗的那一部分下面，有一道几乎纯白的倾斜斑记位于球的表面，往下颜色逐渐变淡，先变成铅灰色，再变成黄色，而后为褐色，于是朝着球的下部再徐徐地越变越黑。正是这种色调当光线照射到一个凸面时便产生了令人赞叹的效果。如果检查一下其中的一个球，就会看到其下部系褐色，它同上部被一条斜曲线所模糊地分开，上部颜色较黄，铅色也较深；这道斜曲线同白色光块的长轴、确实也同所有色调的长轴相垂直；当然这种颜色差异是不能在

木刻图上表现出来的，但这种颜色差异一点也不防碍这个球的完整色调。特别要加以观察的是，每个眼斑都和一根黑条纹、要不就和一纵行黑斑点明显地相连，因为二者都出现于同一根羽毛之上，并无差别，如图 57 所示，条纹 A 走向眼斑 a；条纹 B 走向眼斑 b；条纹 C 的上部断裂了，它走向下一个眼斑，但在木刻图上没有表示出来；条纹 D 又走向更下的一个眼斑，条纹 E 和 F 则照此类推。最后，这几个眼斑彼此被一个带有不规则黑色斑记的淡色表面所分开。

其次我将描述这个系列的另一极端，即一个眼斑的最初痕迹。那些短次级翼羽（图 58）最靠近身体的部分就像其他羽毛那样，具有斜走的、纵向的、不甚规则的数行颜色很暗的斑点。其下方五行（最下一行除外）的基部斑点，即距羽干最近的斑点，比同行的其他斑点略大并在横的方向略长。它和其他斑点的差别还表现在其上部边缘是以某种模糊的暗黄色调为界的。但这个斑点在任何方面并不比许多鸟类羽衣上的那些斑点更惹人注目，因而容易被忽略掉。在它上方的那个斑点和同行上部的其他斑点就完全没有差别了。短次级翼羽的这等较大的基部斑点所在的位置正是较长翼羽的完整眼斑所在的相应位置。

通过对依次的另外两三根翼羽的观察，可从刚刚描述的那个基部斑点以及在它上面的那个同一行斑点到一个不能称为眼斑的奇妙装饰物——由于还没有更好的名称，所以我管它叫“椭圆装饰物”，可以追踪出一个不知不觉的级进过程。所有这些都在图 59 中示明。我们在这里看到具有平常性状的几行斜趋的暗色斑点 A、B、C、D 等（参阅右侧的文字图解）。每行斑点都下趋至一个椭圆装饰物并与之相连，其方式正同图 57 所示的每根条纹下趋至一个形似“球与穴”的眼斑并与之相连的情况完全一样。拿任何一行来看，譬如图 59 的 B 行，其最下方的斑点 b 比它上面的那些斑点更粗，而且长得多，其左端变尖并向上弯曲。这个黑斑的上边突然出现一

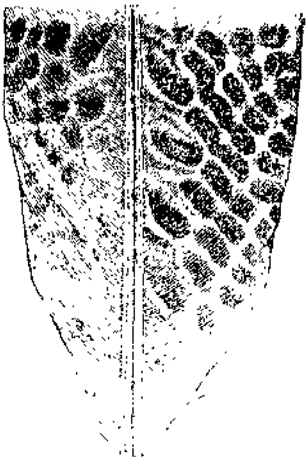


图 58 次级翼羽的基部，最靠近身体的部位。

个具有鲜艳色调的宽阔部分，始于一条褐色狭带，然后逐渐变为橙色，由橙色又逐渐变为一种淡铅色，其向羽干的那一端颜色还要淡得多。这等浓淡具备的色彩充满了椭圆装饰物的整个内部。斑记(b)在每个方面都同上一节(图 58)所描述的简单羽毛的那个浓淡适宜的基部斑点相当，只不过是发达得更为高度、而且色彩更为鲜明而已。这个斑点的右上方色调鲜明，那里有一个属于同一行的窄而长的黑斑(c)，稍微向下弯曲，正好与(b)相对。这个黑斑有时断裂为两个部分。其下部边缘也是窄的，呈暗黄色。c 的左上方尚有另一个黑斑(d)，亦居于同一倾斜的方向，但是或多或少地不同于 c。这个斑记一般为亚三角形，而且形状不规则，但这个图解中所示的，它异常地窄而长并且是规则的。它显然包含斑点(c)已断裂的横向延长部分，以及与之汇合的上面那个斑点已断裂的延长部分；但关于这一点我还不能肯定。这三个斑记 b、c、和 d，以及它们之间的明亮色调一起构成了所谓的"椭圆装饰物"。这些装饰物同羽干平行，其位置明显地同那些形似"球与穴"的眼斑的位置相当。我们无法从图中来欣赏其非常优美的外观，因为橙色和铅色同黑斑之间的显现的美，是无法从该图显示出来的。

在椭圆装饰物和形似"球与穴"的完善眼斑之间有如此完整的级进，以致几乎不可能决定应该何时使用眼斑这一术语才是。从前

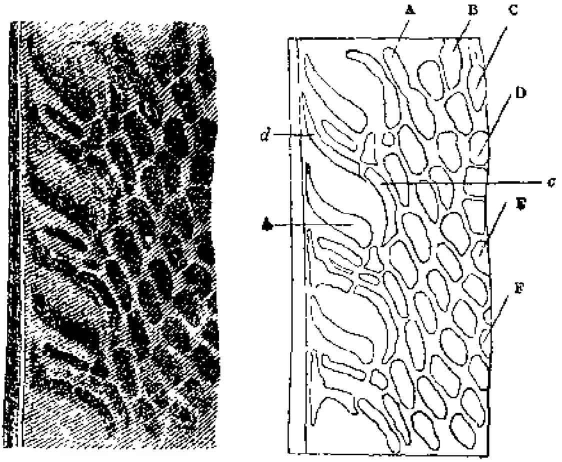


图 59 一根次级翼羽靠近身体的部分，示明所谓的“椭圆形装饰物”。右图仅为文字说明的图解：A、B、C、D 等分别代表下趋的诸斑点行列以及形成的椭圆装饰物

b. 为 B 行最下方的斑点或斑记；c. 同一行中的次一斑点或斑记；

d. 显然是同一 B 行的斑点 C 已经断裂的一个延长部分。

者过渡到后者是这样来完成的，即，下面的黑斑(图 59，b)伸长并朝上弯曲，尤其是上面的黑斑(c)更为如此，同时那个伸长的亚三角形，即那个狭斑(d)收缩，所以这二个斑记最后汇合在一起，形成一个不规则的椭圆环。这个环逐渐变得越来越圆，越来越规则，同时扩大了其直径。我在此提供一幅按天然大小画下来的一个尚未十分完善的眼斑图(图 60)。黑环的下部比椭圆装饰物(图 59，b)的下部斑记弯曲得多。黑环的上部包含两三处分开的部分；形成白影上方那块黑斑的部位只有一点变粗的痕迹。这白影本身尚未十分集中；而且在其下方的表面比一个形似“球与穴”的完整眼斑的色

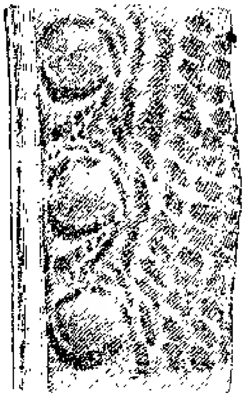


图 60 一个中间状态的眼斑，
介于椭圆装饰物和形似“球与
穴”的完善眼斑之间。

彩更为明亮。即使在最完善的眼斑中，也可以观察到形成圆环的那三四个伸长的黑斑的接合。这个不规则的亚三角形或狭斑(图 59，d)，通过它的收缩和均等化，明显地在形似“球与穴”的完善眼斑的那个白影上方形成了圆环的加粗部分。圆环的下部总是比其他部分略粗一些(见图 57)，这是由于椭圆装饰物的下部黑斑(图 59,d)原来就比其上部的黑斑(c)为粗。汇合和改变的过程所经历的每个步骤都能被追查出来；围绕圆形眼斑的黑环无疑是由椭圆装饰物的那三个黑斑 b,c,d 所形成的。相邻眼斑之间的那些不规则的弯曲黑斑显然都是由于椭圆装饰物之间的那些较为规则、但彼此相似的黑斑破裂所成。

形似“球与穴”的眼斑，其色调形成的连续步骤也同样可以清楚地被追查出来。那些褐色的、橙色的、和淡铅色的狭带构成了椭

圆装饰物下部黑斑的界线，可以看到它们的颜色变得越来越弱并且逐渐融合起来，上面颜色较明亮的那一部分靠左角愈益变得明亮，以致几乎变成白色，同时也更加收缩。如上所述，甚至在形似"球与穴"的最完善眼斑中，还可以察觉出球的上部和下部之间在色彩上有一种轻微差异，虽然并非色调上的差异；球的上部和下部的分界线是斜的，其倾斜的方向正如椭圆装饰物的具有明亮颜色的光影的方向。于是可以阐明，形似"球与穴"的眼斑在形状和颜色上的几乎每一个细节都是来自椭圆装饰物的逐渐变化；而且从两个差不多是简单的斑点的结合，通过同等的小步骤，可以追踪出椭圆装饰物的发展过程，居于下方的那个斑点的上部边缘呈暗淡的黄褐色。

具有形似"球与穴"的完善眼斑的次级长羽末端都有特别的装饰（图 61）。那些斜的纵条纹向上突然中止并相互混合起来；在这个界限之上的整个羽毛上端(a)布满了白色小点，围以黑色小环，位于暗色背景之上。属于最上眼斑(b)的斜条纹仅仅成为一个很短的不规则黑斑，仍具有平常那样的横向弯曲的底部。由于这个条纹是那样突然地断掉了，因此我们根据前面所发生的一切，也许能够理解这个圆环上方的加粗部分是如何在这里消失的；因为，如上所述，这个加粗部分显然同上面那个较高斑点已断裂的一个延长部分存在着某种关系。由于圆环上部加粗部分的缺如，最高的那个眼斑尽管在其他所有方面都是完善的，但其顶端好像斜斜地被削去了一块。我想，任何一个人如果认为锦雉的羽衣一创造出来就像我们现在所看到的那样，那么在他说明最高眼斑的不完善状态时就会感到困惑。我应该再作一点补充，即距离身体最远的那些次级翼羽上的所有眼斑都比其他羽毛上的眼斑为小，而且较不完善，其圆环的上部缺如，恰如刚才提到那种情况一样。这种不完善的情况在此似乎同下述事实有关，即，这种羽毛上的斑点汇合成条纹的倾向比通常的情况为小；相反地，它们往往断裂成较小的斑点，所以

有二三行斑点走向同一个眼斑。

现在留下来的还有一个很奇妙的问题值得注意，这是伍德先生首先观察到的[①]。华德先生给过我一张照片，其上为一个进行夸耀自己的剥制标本，可以看到其垂直举起的羽毛上诸眼斑的白色斑记皆在上端或最远的一端，也就是对着上方，这一白色斑记体现着从一凸面反射出来的光线；当这只鸟在地面上夸耀自己时光线自然是从上面照射下来的。但妙处就在于此：它的外部羽毛保持着几乎水平的状态，其眼斑所处的位置似乎应该适于接受来自上方的光照，因而那个白色斑记应该位于眼斑的上侧；它们的位置果然如此，真是令人不可思议！因此，若干羽毛上的眼斑就光线而言虽处于很不相同的位置，但看来好像光线都是从上方照射的一般，恰如一位美术家给它们涂上了浓淡适宜的色彩一样。尽管如此，它们并非严格地从同一点接受光照，像它们应该表现的那样；因为保持几乎水平状态的羽毛上诸眼斑的白色斑记位置过于接近较远的一端；也就是说它们并非完全横向的。无论如何我们无

图 61 一根具有形似“球与穴”完善眼斑的次级翼羽近末端的部分
a. 具有装饰的上部；b. 近翼光处不完整眼斑；c. 完整的眼斑。

① 《田野新闻》，1870 年 5 月 28 日。

权期望通过性选择所获得的具有装饰性的那一部分是绝对完善的，正如通过自然选择所获得的具有实际用途的那一部分也不是绝对完善的一样；例如，像人类眼睛那样奇妙的器官亦复如此。我们都知道赫姆霍尔兹——关于这个问题的欧洲最高权威——对人类眼睛说了些什么；他说，如果一位光学仪器商卖给他的仪器粗制滥造得像人类眼睛那样，他大概会认为自己有充分的正当理由去退货①。

我们现在已经看到从一个简单斑点到形似"球与穴"的奇妙装饰物之间可以追踪出一个完整的系列。古尔德先生给过我一些这种羽毛，盛情可感，关于这个级进的完整性，他完全同意我的意见。同一只鸟的羽毛所显示的发展阶段显然完全没有必要向我们表明这个物种的绝灭祖先在发展过程中所经历的步骤；但是，它们大概向我们提供了有关这个实际步骤的线索，至少它们证明了渐次的级进是可能的。如果没有忘记雄锦雉如何小心翼翼地在雌鸟之前夸示其羽衣，而且如果没有忘记前此所举的许多事实，证明雌鸟会偏爱更有魅力的雄鸟，那么凡是承认性选择在任何场合中都会发生作用的人，就不会否认一个简单的暗黄褐色斑点通过相邻的两个斑点的接近和变异，再加上颜色的稍微变深，就可以变为一种椭圆装饰物。曾把这等椭圆装饰物给许多人看过，他们莫不承认它们是美丽的，有的人甚至认为它们比形似"球与穴"的眼斑更美丽。由于次级羽毛通过性选择而变长了，又由于椭圆装饰物的直径加大了，因此它们的颜色显然变得较不鲜明了；于是，势必通过样式和色调的改进而获得羽衣的装饰性；这个过程继续进行不已，直到最后发展为奇妙的形似"球与穴"的眼斑为止。这样我们就能理解——在我看来用别的方法都不能理解——锦雉翼羽装饰物的现

① 《科学问题通俗讲演集》(Popular lectures on Scientific Subjects)，英译本，1873年，219、227、269、390页。

在状态及其起源。

根据级进原理所提供的说明——根据我们所知道的变异法则——根据我们许多家养鸟类所发生过的变化——最后，根据幼鸟未成熟的羽衣性状(对此我们以后将会看得更清楚)——我们有时能够以某种程度的自信来示明雄鸟获得其鲜艳羽衣以及各式各样的装饰物所经历的大致步骤；但在许多场合中我们还是完全处于黑暗之中的。高尔德先生若干年前曾向我指明，有一种名叫班氏白尾梢蜂鸟的，以雌雄二者之间的奇特差异而著称。其雄者除了有一个华丽的新月形颈饰外，还有黑绿色尾羽，其中四根中央尾羽的尖端为白色；其雌者和大多数亲缘相近的物种一样，其每侧三根外尾羽的尖端为白色，因此这种白色尖端的尾羽，雄者有四根是在中央而雌者有六根是在外侧。使这种情况更加奇妙的是，尽管许多蜂鸟种类的雌雄二者的尾羽颜色有显著差异，但除了白尾梢蜂鸟属，古尔德先生再也不知道有任何物种的雄者具有四根白色尖端的中央尾羽。

阿盖尔的公爵评论这一情况时竟完全忽略了性选择①，并且问道，“对这等特殊的变种，自然选择法则能够给予什么解释吗？”他的回答是、“什么都解释不了；”我完全同意他。但这种看法能够令人信服地用于性选择呢？鉴于蜂鸟类的尾羽有如此多方面的差异，为什么那四根中央尾羽不应该单在这一个物种中发生变异从而获得其白色的尖端呢？这等变异可能是逐渐的或者是突发的，像最近所举出的波哥大附近蜂鸟类的例子就是如此，这个例子表明“中央尾羽尖端呈艳绿色者”仅为某些个体。我注意到白尾梢蜂鸟属的雌者的那四根黑色中央尾羽，其外侧两根有极细小的或残迹的白尖；因此我们在这里便有了关于这个物种羽衣的某种变化迹象。如果我们承认雄者的中央尾羽有变白的可能性，那么关于这等

① 《法则的支配》，1867年，247页。

变异系出于性选择，就毫不足怪了。这种白色羽尖以及白色小耳簇毛，正如阿盖尔的公爵所承认的，肯定会增添雄者的美貌；而白色显然是其他鸟类所欣赏的颜色，这从雪白的雄性铃鸟的情况可以推论出来。赫伦爵上所做的叙述不应忘记，他说，如果禁止他的雌孔雀同雄斑孔雀接近，那么前者就不同其他任何雄孔雀交配，因而在那个季节就没有后代产生出来。白尾梢蜂鸟属的尾羽异变乃是专门为了装饰而受到选择，并不是奇怪的事。因为该科中紧挨着的下一个属就是由于它的华丽尾羽而取得了辉尾蜂鸟属这个名称。此外，我们还有良好的证据可以证明蜂鸟特别尽力地夸示其尾羽；贝尔特先生[1]描述了白颈蜂鸟的美丽之后说道，"我见过停息在一条树枝上的这种雌鸟，而且有两只雄鸟在雌鸟面前夸示其魅力。一只雄鸟像火箭似地向上飞去，然后突然展开其雪白的尾羽，犹如一只倒置的降落伞，徐徐地降到雌鸟的面前，顺序回转，展示其全身的前前后后。……其展开的白色尾部遮盖了身体的下余部分还有余，当进行这种表演时，其容貌显然是壮丽的。在一只雄鸟降落的同时，另一只雄鸟就会向上突飞，展开其尾羽，徐徐下降。这场表演将以两个表演者的相斗而告终；但究竟是最美丽的还是最勇敢的成为被接受的求婚者，我还弄不清楚。"古尔德先生在描述了白尾梢蜂鸟属的特殊羽衣之后，接着说道，"我本人一点也不怀疑其唯一的目的乃是为了装饰和变异。"[2] 如果承认了这一点，我们就能看出原先以最优美和最新奇的方式来装饰自己的雄者在同其他雄者的竞争中，而非在正常的生存斗争中，将会获得一种优势，而且会留下较大数量的后代来继承其新获得的美貌。

---

① 《博物学者在尼加拉瓜》，1874年，112页。

② 《蜂鸟科导论》，1861年，110页。

第十五章

鸟类的第二性征(续二)

关于为何某些物种只有雄者的色彩是鲜明的而另外一些物种的雌雄二者的色彩都是明亮的这一问题的讨论——限于性别的遗传性,适用于各种构造以及色彩鲜明的羽衣——筑巢同颜色的关系——冬季期间婚羽的消失。

我们在本章所探讨的是,为什么许多鸟类的雌者没有获得和雄者一样的装饰;另一方面,为什么其他许多鸟类的雌雄二者都有一样的或几乎一样的装饰?在下一章,我们将探讨有关雌鸟的色彩比雄鸟的更为显著的少数事例。

在我的《物种起源》一书中①,我曾简略地提到过雌孔雀如果具有雄孔雀那样的长尾,在孵卵时大概不会方便,而且雌雷鸟如果具有雄雷鸟那样的显著黑色,在孵卵时大概会招致危险;因此,通过自然选择这些性状从雄者向雌性后代的传递就会受到抑制。我原来认为这种情况还可能在少数事例中出现:但对我所能收集到的全部事实加以深思熟虑之后,我现在倾向于相信,如果雌雄二者有所差异,一般说来其连续变异的传递一开始就只限于首先出现这种变异的那一性别。自从我发表了这个见解以来,华莱士先生在

① 第4版,1866年,241页。

他写的一些很有趣的论文中探讨了这个性别色彩的问题[1]，他相信几乎在所有场合中，那些连续变异在最初都倾向于相等地传递给雌雄二者，只不过雌鸟通过自然选择避免了获得雄鸟的显著颜色，不然的话，雌鸟在孵卵期间就会因此招来危险。

为了说明这个见解，需要对一个难题进行冗长的讨论，即，最初由雌雄二者所继承的一种性状，此后是否能够通过自然选择只限于向某一性别传递。我们必须记住，正如在最先讨论性选择的第八章中所表明的，那些只限于在某一性别发育的性状在另一性别总是潜伏的。下面这个假想的例证将会最好地帮助我们去理解这个问题的难点：我们假设有一位鸟类玩赏家希望育出一个鸽品种，仅使这个品种的雄鸽具有淡蓝色面让雌鸽保持其原有的石板青色。由于鸽的各种性状通常都是相等地传递给雌雄二者，因此这位玩赏家就必须试着把后面这种遗传形式转变为限于性别的传递。他所能做的全部事情无非是百折不挠地把每只稍微具有淡蓝色的雄鸽选择下来；如果长期坚持进行这种选择，而且，如果这种淡蓝色变异得到强烈的遗传或常常重视，那么这种选择过程的自然结果大概可以使他的整个鸽群都具有一种较淡的蓝色。但我们这位玩赏家将被迫一代又一代地使其淡蓝色雄鸽同石板青色雌鸽进行交配，因为它希望使后者仍保持石板青色。其结果一般是育出许多杂色的后代，而更可能的是淡蓝色迅速面彻底地消失；这些因为原始的石板青色将以优势的力量传递下来。然而，假设在连续的每一个世代中都产生了一些淡蓝色的雄鸽和石板青色的雌鸽，并且总是彼此杂交，那么石板青色的雌鸽，如果我可以用下面方式来表达的话，就会在雌鸽们血管里有大量的蓝色血液，因为它们的父代、祖代等全都是蓝色的鸟。在这种情况下可以想象得到（尽管我不知

① 《威斯敏斯特评论》，1867年7月。《旅游杂志》(*Journal of Travel*)，第1卷，1868年，73页。

道有什么显著的事实可以说明这是可能的)，石板青色雌鸽所获得的淡蓝色的潜伏倾向是如此强烈，以致不会破坏其雄性后代的淡蓝色，而其雌性后代仍会承继石板青色。果真如此，那么育成一个雌雄二者的色彩永不相同的品种这个所要求的目的就会达到。

上述场合中所要求的性状，即淡蓝色这个性状，虽然在雌鸽方面处于潜伏状态，但它的存在还是极端重要的，勿宁说是必不可少的，这样，雄鸽的淡蓝色就不致恶变，下述情况将使这一点得到最好的说明：铜色雉雄者的尾羽长达 37 英寸，而雌者尾羽的长度仅为 8 英寸；普通雄雉的尾羽长约 20 英寸，而其雌者尾羽的长度为 12 英寸。那么，如果具有短尾的雌铜色雉同普通雄雉进行杂交，毫无疑问其雄性杂种后代的尾羽将会比普通雉纯种后代的尾羽长得多。另一方面，普通雌雉的尾羽比雌铜色雉的尾羽长得多，如果前者同雄铜色雉进行杂交，那么其雄性杂种后代的尾羽就会比铜色雉纯种后代的尾羽短得多①。

我们的玩赏家为了育成一个这样的新品种：其雄鸽为淡蓝色，其雌鸽保持原色不变，他必须在许多世代中连续对雄鸽进行选择；而且颜色变淡每一阶段都必在雄者方面固定下来，并且使其在雌者方面潜伏下来。这将是一项极其困难的工作，从未有人试过，但却是可能实现的。其主要障碍大概是，由于必须同石板青色雌鸽反覆进行杂交，而后者一开始就没有产生淡蓝色后代的任何**潜伏**倾向，则淡蓝的色调将在早期内完全消失。

另一方面，如果有一两个雄鸽出现了非常轻微的淡蓝色变异，而且这种变异从一开始就限于只传递给雄性一方，那么要育成一个预期类型的新品种的工作大概就会容易了，因为只要简单地选

① 特民克(Temminck)说，雌铜色雉(*Phasianus soemmeringii*)的尾羽只有 6 英寸长，参阅《彩色版画》(Planches coloriées)，第 5 卷，1838 年，487 和 488 页；以上列举的数据是斯克莱特先生为我测得的。关于普通雉，参阅麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 1 卷，118—121 页。

择这种雄鸽并使之同普通雌鸽交配就可以了。实际上有一个类似情况曾经出现过，因为在比利时有些鸽的品种[①]只有其雄者才具有黑色条纹。再者，特格梅尔先生最近指出[②]，龙鸽产生了不少银色的鸽，这等鸽几乎都是雌的；他自己就育成了10只这样的雌鸽。反之，如果育成一个银色的雄鸽，那就是一件很特殊的事情了；因此如果愿意的话，没有比育成一个龙鸽品种——其雄者为蓝色、其雌者为银色——更为容易的了。这种倾向的确是非常强烈的，因而当特戈梅尔先生最后获得了一只银色雄鸽并使它同一只银色雌鸽进行交配时，他期望获得雌雄二者都是这等色彩的一个品种，但他失望了，因为雄幼鸽复现其祖代的蓝色，只有雌幼鸽呈银色。毫无疑问，只要有耐心，用偶尔出现的银色雄鸽同银色雌鸽进行交配，这样育成的雄鸽，其返祖倾向还是可以排除的，于是雌雄二者的色彩便是同样的了；埃斯奎兰特先生在银色浮羽鸽的场合中成功地实现了这一过程。

至于家鸡，其传递只限于雄性的那些颜色变异是经常发生的。当这种遗传形式居于优势时，大概常常会发生下述情况：即，有些连续变异也会传递给雌鸡，于是这等雌鸡就会同雄鸡稍微相似，如某些品种实际上所发生的情况那样。此外，大多数的、但并非全部的连续变异可能传递给雌雄二者，于是雌者就会同雄者密切相似。雄突胸鸽比雌突胸鸽的嗉囊大不多少并且雄信鸽比雌信鸽的垂肉大不多少，其原因无可怀疑地正在于此；因为玩赏家们所选择的某一性并不比另一性为多，而且没有任何意图使这等性状在雄者方面比在雌者方面表现得更为强烈，尽管这两个品种的情况正是如此。

如果期望育成一个只是雌者具有某种新色彩的品种，那么就

① 沙普伊(Chapius)博士，《比利时信鸽》，1865年，87页。
② 《田野新闻》，1872年，9月。

必须遵循同样的过程，而且会遇到同样的困难。

最后，我们的玩赏家也许希望育成一个这样的品种：其雌雄二者彼此不同，而且和亲种也不相同。在这种场合中要想获得成功是极其困难的，如果那些连续变异一开始在雌雄双方都有性别限制，那么大概就不会有什么困难。我们在家鸡的场合中可以看到这种情况；例如条斑汉堡鸡的雌雄二者彼此大不相同，而且同原始祖先原鸡的雌雄二者也不相同；于是靠着连续选择，其雌雄二者在其优秀标准上都保持了稳定；除非雌雄二者的独特性状在传递上有所限制的话，那么这种连续选择就几乎是不可能的了。

西班牙鸡提供了一个更加奇妙的事例：其雄者有一个巨大的肉冠，这一性状系通过连续变异的积累而获得的，但有些连续变异似乎已传递给了雌者；因为她的肉冠比亲种雌者的肉冠要大许多倍。但雌者的肉冠和雄者的肉冠在某一点上有所不同，因为雌者的肉冠容易垂下；最近玩赏家决定使它永远如此，并迅速获得成功。现在肉冠下垂这一性状在传递上必定有性别限制，否则它就会制止雄者肉冠的完全直立，而每个玩赏家对此都感到厌恶。另一方面，其雄者肉冠的直立也必定同样是有性别限制的一种性状，否则它也会制止雌者肉冠的下垂。

根据以上说明，我们知道即使有几乎不受限制的可以自由支配的时间，通过选择把一种传递方式改变为另一种方式，也是极端困难而复杂的，也许是不可能实现的过程。因此，无论在任何场合中，若无显著的证据，我不愿承认自然物种会完成这一过程。另一方面，凭借一开始在传递上就有性别限制的连续变异，要使一只雄鸟在颜色或其他任何性状方面和雌鸟大不相同，就不会有丝毫困难了；同时雌鸟仍保持不变，或稍有改变，或为了保护自己而发生特殊改变。

由于鲜明的色彩有助于雄鸟同其他雄鸟进行竞争，因此这等色彩无论是否专门向同一性别传递，都会受到选择，结果，可以期

望雌鸟往往会程度不同地分享雄鸟的鲜明色彩;很多物种都发生过这种情形。如果所有连续变异都同等地传递给雌雄二者,则雌者和雄者就没有区别;许多鸟类所发生的情况正是如此。然而,如果暗淡的色彩对于雌鸟在孵卵期间的安全是高度重要的话,例如许多地栖鸟类的情况,那么那些色彩变得鲜明的雌鸟,或那些通过遗传从雄鸟方面继承了任何显著鲜明色彩的雌鸟,迟早都不免于毁灭。但是,雄鸟把自身的鲜明色彩传递给其雌性后代已经历了无限长的时期,要想消除这种倾向,就必须通过遗传方式的改变;这,正如我们前面的例证所表明的那样,大概是极难的。假设同等地向雌雄二者传递的方式占主导地位,那么那些色彩比较鲜明的雌鸟长期不断遭到毁灭的更加可能的结果将是色彩鲜明的雄鸟的减少或消灭,这是由于雄鸟同色彩比较暗淡的雌鸟不断进行杂交的原故。要一一列举所有其他可能的结果会令人感到厌烦;但我愿提醒读者注意一点,如果雌鸟发生了有性别限制的鲜明色彩的变异,即使这等变异并没有给她们带来丝毫损害,因而也没有使她们消灭,可是她们仍然不会因此受益或受到选择,这是因为雄鸟通常会接受任何一个雌鸟,并不选择更有魅力的个体;结果这等变异就容易消失,而对于这个族的性状并不会发生多大影响;这将有助于我们解释雌鸟的色彩为何普遍都比雄鸟的色彩暗淡。

在第八章曾举出过一些事例,表明诸变异在不同年龄出现者,亦于后代的相应年龄遗传之,在此还可以对此等事例做许多补充。它们还表明在生命晚期发生的变异通常都是传递给最先出现这种变异的那一性别;而在生命早期发生的那些变异则倾向于传递给雌雄双方;并非对受到性别限制的一切传递事例都能这样给予解释。上述事例进一步表明,如果一只雄鸟在幼小时发生了色彩更加鲜明的变异,那么这等变异在达到生殖年龄之前是没有用处的,而到了生殖年龄,雄鸟之间就会发生竞争。但是,生活于地面的鸟类通常都需要暗淡的色彩作为保护,在这种场合中,鲜明的色彩对于

没有经验的幼小雄鸟比对于成年雄鸟更加危险得多。因此，那些发生鲜明色彩变异的幼小雄鸟就会受到大量损害并通过自然选择而消灭；另一方面，那些在接近成熟期发生这样变异的雄鸟，尽管处于更多的危险之中，但仍会活下去，而且由于通过性选择得到了利益，它们的种类就会繁衍起来。由于在变异的时期和传递的方式之间往往存在着一种相互联系，因此，倘若具有鲜明色彩的幼小雄鸟遭到了毁灭而且具有鲜明色彩的成熟雄鸟在求偶方面获得了成功，那么就只有雄鸟会获得鲜明色彩并把这种性状专门传递给其雄性后代。但我丝毫没有坚持认为年龄对传递方式的影响乃是许多鸟类雌雄二者在鲜明颜色方而存在着巨大差异的唯一原因。

当鸟类的雌雄二者在颜色上有所差异时，令人感到兴趣的是，决定这等差异究竟是因为只有雄鸟在性选择作用下发生了变异而雌鸟保持不变呢？还是因为雄鸟只是部分地和间接地发生了这种变化呢？或者，是否因为雌鸟在自然选择作用下为了保护自己而发生了特殊变异呢？因此，我将用一定的篇幅来充分讨论这个问题，从其内在的重要性来看，我的讨论也许过于充分，因为只有这样才可以便利地对各个并行的奇妙问题进行考察。

在我们讨论色彩问题、尤其是有关华莱士先生的一些结论之前，用同样观点先讨论一下某些别的性差异，也许是有用处的。以前在德国有一个家鸡品种[1]，其雌者有足距，是很好的产卵鸡，但它们的足距对于鸡窝的损坏如此之大，以致不能允许它们去孵自己的卵。因此，有一个时期我以为野生鹑鸡类雌者足距的发展大概通过自然选择而受到了抑制，这恐怕也是由于其足距给鸡窝造成了损坏的原故。从下述事实看来，这一点就似乎完全可能了，即，由于翼距在孵卵期间不会给鸟窝造成损坏，因此雌鸟翼距往往和雄鸟翼距一样地发达；尽管在不少场合中雄鸟翼距略大。如果雄鸟具

① 贝希斯坦，《德国博物志》，1793年，第3卷，339页。

有足距，雌鸟几乎总是表现有足距的残迹，——这个残迹物像在原鸡属中那样，有时仅仅是由一个鳞片构成的。因此，有人会争辩说，雌鸡原来都具有十分发达的足距，不过后来由于不使用或自然选择作用而消失了。但是，如果承认这个观点，就得把它引伸到其他无数事例，而这意味着现存的有距物种的雌性祖先曾一度受到一种有害附器的拖累。

在少数某些属和物种中，诸如山鹑属、团扇雉以及爪哇绿孔雀，其雌者和雄者一样都有十分发达的足距。根据这一事实我们是否可以推论说雌鸟们所造的巢不同于其近亲物种所造的巢，这种巢不容易受到它们的足距的损坏，所以它们的足距并没有因此消失呢？或者我们是否可以假设这九个物种的雌者特别需要足距以保卫它们自己呢？一个更为可能的结论是，雌鸟足距的存在和缺如都是占有主导地位的不同遗传规律所造成的结果，而同自然选择无关。关于足距以残迹状态出现的许多雌鸟，我们可以断定，通过连续变异，雄鸟的足距发达了，其中少数连续变异是在雄鸟的生命很早时期发生的，结果传递给了雌鸟。另外有些雌鸟的足距也是充分发达的，关于这非常罕见的事例，我们可以断定全部的连续变异都传递给了雌鸟；而且它们逐渐获得了并遗传了不弄坏其鸟巢的习性。

雌雄二者的发音器官和经过种种改变以便发音的羽毛，以及运用这等器官的固有本能，往往彼此有所差异，但有时是彼此相同的。能否用下述原因来说明这等差异呢？即，雄鸟获得了这些器官和本能，而雌鸟并不遗传它们，以免引起猛禽或猛兽的注意而处于危险之中。每当我们想起大量的鸟类在春天无忧无虑地以其鸣声

给乡村带来了欢乐时,就觉得这个原因似乎是不可能的①。较为可靠的一个结论是,由于声乐器官和器乐器官的特别用途在于雄鸟的求偶,所以这些器官是通过性选择并在雄性中不断使用而发展起来的——其连续变异以及使用的效果从一开始就或多或少地只限于传递给雄性后代。

还有许多相似的事例可以引证;诸如雄鸟头上的羽饰一般比雌鸟的长,有时二者的长度相等,偶尔雌鸟头上缺少羽饰,——这几种情形竟在鸟的同一类群中发生。用下述说法很难解释雌雄二者之间的这等差异,即认为雌鸟的冠毛小于雄鸟的冠毛对雌鸟来说是有利的,因而通过自然选择它的冠毛缩小了或完全受到抑制了。各种雌雉在其开放的鸟巢中所面临的危险显然同雌孔雀所面临的一样大,但前者仍具有相当长的尾羽。琴鸟的雌者和雄者一样,也具有长长的尾羽,它们还修造了一种有圆顶的鸟巢,这种鸟巢对于如此大形的一种鸟来说是一种重大的反常现象。雌琴鸟在孵卵期间如何处理它的长尾羽曾使博物学家们感到疑惑;但是,现在已经知道②,"入巢时头部在先,然后转过身来,它的尾羽有时弯在背上,但更常见的是弯在身边。一到这样的时候,雌鸟的尾羽就变得十分歪斜,这是一个忍受痛苦的标志,表明这种鸟的孵卵期间很长。"一种澳洲翠鸟的雌雄二者都具有大大变长的中间尾羽,其雌者造巢于穴中;我听夏普先生说,这等尾羽在孵卵期间变得非常弯曲。

在后面这两种场合中,尾羽的巨大长度在某种程度上一定对雌鸟是不方便的;这两个物种的雌鸟的尾羽或多或少地短于雄鸟的尾羽,因此有人也许会争辩说,雌鸟尾羽的充分发展通过自然选

① 然而,戴恩斯·巴林顿认为会鸣唱的雌鸟只有少数,可能是因为这种本事在其孵卵期间会招来危险(《自然科学学报》,1773年,164页)。他进一步说,用类似的观点可能说明雌鸟的羽饰何以劣于雄者的羽饰。

② 拉姆齐先生,《动物学会会报》,1868年,50页。

择受到了阻止。但是，如果雌孔雀尾羽的发展只是在它变得不方便或危险性增大时才被阻止，那么它保留的尾羽，大概要比它实际有的尾羽长得多；因为，按尾羽和体型大小的比例来说，雌孔雀的尾羽并没有像许多雌雉的尾羽那样长，也不长于雌火鸡的尾羽。还必须记住，按照这个观点来说，一旦雌孔雀的尾羽长度达到招致危险的地步，因而它的发展受到抑制时，它大概就会不断地对其雄性后代发生作用，这样就要阻止雄孔雀获得其现在那样华丽的长尾羽。因此，我们可以推断说，雄孔雀尾羽之长和雌孔雀尾羽之短都是雄孔雀必然发生的变异的结果，而这些变异从一开始就只传递给其雄性后代。

有关雉的各个物种的尾羽长度，也会引导我们做出几乎相似的结论。蓝马鸡雌雄二者的尾羽长度是相等的，即 16～17 英寸长；雄普通雉的尾羽长约 20 英寸，雌普通雉的尾羽长为 12 英寸；雄铜色雉的尾羽长为 37 英寸，而雌铜色雉的尾羽长仅 8 英寸；最后，雄中国雉尾羽的实际长度有时竟达 72 英寸，而雌中国雉的尾羽长度仅为 16 英寸。这样，姑置若干物种的雄鸟尾羽不论，雌鸟尾羽的长度也有巨大差异；在我看来，这种差异可以用遗传法则——即，连续变异从一开始就或多或少紧密地限于传递给雄性一方——得到解释；这比用自然选择的作用——即，其结果是由尾羽长度或多或少地有害于这几个亲缘相近的物种的雌者所引起的——来进行解释更加合理得多。

我们现在可以考察一下华莱士先生有关鸟类的性别色彩问题的论点。他认为雄鸟原先通过性选择所获得的鲜明色彩，在所有的或几乎所有的场合中，都传递给了雌鸟，除非这种传递通过自然选择受到了抑制。我在这里可以提醒读者注意，同这个观点相矛盾的各种事实已在有关爬行类、两栖类、鱼类和鳞翅类的章节中列举过了。如我们将在下一章看到的，华莱士先生将其信念主要建立在、

并非专门建立在下列陈述的基础之上①,即,当雌雄二者都具有很显著的色彩时,其鸟巢就具有对孵卵之鸟加以隐蔽的性质;但是,如果雌雄二者的色彩存在着显著的对比,雄鸟色彩鲜艳而雌鸟色彩暗淡,那么它们的鸟巢就是开放的,孵卵之鸟一望得见。这种巧合,就其所表现的来说,似乎肯定有利于下述信念,即,在开放鸟巢中孵卵的雌鸟为了保护自己发生了特殊的变异;但我们马上就会知道还有另一种更为合理解释,即,色彩显著的雌鸟比色彩暗淡的雌鸟获得营造圆顶鸟巢之本能者更加常见。华莱士先生承认,像可以预料到的那样,关于他的那两条规律,有一些例外,但问题在于这些例外是否没有多到可以使这两条规律归于无效的严重程度。

阿盖尔的公爵②认为一种圆顶大鸟巢比开放的小鸟巢容易为其敌害所见,尤其容易为攀行树间的食肉兽所见,这是非常正常的看法。我们一定不要忘记,营造开放鸟巢的许多鸟类的雄者也会孵卵而且帮助雌者喂养幼鸟:例如美国最华丽的一种鸟的情况就是如此③,这种雄鸟呈朱红色,雌鸟则为淡褐绿色。那么鲜艳的色彩对于在开放鸟巢里孵卵的鸟如果是极端危险的话,则雄鸟在这等场合中就会大受其害。然而,为了击败其雄性对手,雄鸟具有鲜艳色彩是最重要的,这足以补偿某种附加的危险而有余。

华莱士先生承认,短尾属、黄鹂属以及八色鸫科的雌者都具有显著的色彩,但它们却造开放的巢;然而他极力主张,短尾鸟高度勇猛善斗,能够保卫自己;黄鹂鸟则极端谨慎地把其开放的鸟巢隐蔽起来(但实际情况并非永远如此)④;至于八色鸫科的鸟,其雌者的鲜明色彩主要在身体的底面。除这些事例外,鸽子的色彩有时也

① 《旅游杂志》,默里编,第1卷,1868年,78页。
② 《旅游杂志》,默里编,第1卷,1868年,281页。
③ 奥杜邦,《鸟类志》,第1卷,233页。
④ 杰尔登,《印度的鸟类》,第2卷,108页。古尔德《澳大利亚鸟类手册》,第1卷,463页。

是鲜明的，而且几乎总是显著的，众所周知，它容易遭受猛禽的攻击，因而这对华莱士的规律又提供了一个突出的例外，因为鸽子所造的巢几乎总是开放的和外露的。另一大科，即蜂鸟科，其所有物种都营造开放的鸟巢，可是有些最华丽的物种，其雌雄二者的色彩是彼此相似的；从大多数物种来看，尽管雌鸟的华丽色彩不及雄鸟，但它们的色彩仍然是鲜明的。认为一切色彩鲜明的雌蜂鸟由于具有绿的色泽就可逃避察觉也是不对的，因为有些雌蜂鸟的体部上表面呈现红色、蓝色以及其他颜色①。

关于鸟类在穴中做巢或营造圆顶鸟巢，华莱士先生认为，这样除了有荫蔽的好处以外，还有其他好处，诸如可以避雨和避酷热，而且在热带可以防止太阳的照射②；据此，就不能有效地反对他的观点，他认为，许多鸟类的雌雄二者虽然都呈暗淡的色彩，却造荫蔽的巢③。以印度和非洲的雌犀鸟为例，它在孵卵期间非常细心地把自己保护起来，它在穴中孵卵，用自己的排泄物封闭穴口，只留一个小孔，以便雄鸟给它进食；于是它在整个孵卵期间成了一个被禁闭的囚徒④；然而雌犀鸟的色彩并不比那些营造开放鸟巢的其他许多同等大小的鸟类的色彩更为显著。如华莱士先生自己所承认的，同他的观点相矛盾的还有一个更严重的情况，即，某些少数

① 例如：燕尾蜂鸟（*Eupetomena macroura*）的雌者，其头部和尾部呈暗蓝色，腰部为红色；火炬蜂鸟（*Lampornis porphyrurus*）雌者的上表面为黑绿色，其眼先和喉部两侧呈艳红色；*Eulampis jugularis* 雌者的头顶和背部呈绿色，但腰部和尾部为深红色。关于具有高度显著色彩的雌蜂鸟，还可以举出许多其他例子。请参阅古尔德先生有关这一科的巨著。

② 沙尔文先生在危地马拉注意到（《彩鹮》，1864 年，375 页），当太阳强烈照射时，蜂鸟类在很炎热天气里比在凉爽、阴天或下雨的时候更不愿意离开其鸟巢；它们的卵在炎热天气里好像更容易受到损害。

③ 关于色彩暗淡的鸟类营造荫蔽的鸟巢，我可以列举八个澳洲属的物种作为例子，在古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第 1 卷，340、362、365、383、387、389、391、414 等页均有对它们的描述。

④ 霍恩先生，《动物学会会报》，1869 年，243 页。

类群的雄鸟色彩鲜艳而雌鸟色彩暗淡，但后者仍然在圆顶鸟巢中孵卵。澳大利亚的鹤类和同一地方的“超等歌手”①、太阳鸟类以及某些澳大利亚吸蜜鸟科的情况都是如此②。

倘若我们观察一下英国的鸟类，就会知道在雌鸟的色彩和它所营造的鸟巢的性质之间并没有密切而普遍的联系。大约有40种英国的鸟类（那些能保卫自己的大型鸟类除外）把巢做在河岸的穴、岩石的穴或树穴中，或者营造有圆顶的巢。我们若将金丝雀、红腹灰雀或乌鸫的雌者色彩作为显著程度的一个标准，因为这等色彩对孵卵的雌鸟并没有高度的危险性，那么在上述40种鸟类中只有12种雌鸟色彩的显著程度可以认为达到危险的地步，其余28种的色彩可视为不显著③。在同一属中，雌雄二者色彩十分显著的差异和其所造的鸟巢的性质之间并无任何密切关系。例如，雄家雀和雌家雀差异很大，而雄树麻雀和雌树麻雀几乎没有差异，可是二者都营造十分荫蔽的巢。普通食虫的鹟的雌雄二者几乎没有区别，而斑色鹟的雌雄二者差异颇大，可是这两个物种都做巢于穴中，即将其鸟巢荫蔽起来。雌乌鸫和雄乌鸫差异很大，雌环纹黑鸫和雄环

① Superb Warblers 系鸟名。——译注

② 有关后面这些物种的造巢及其色彩，参阅古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，504、527页。

③ 关于这个问题，我曾查阅过麦克吉利夫雷的《英国鸟类》，虽然在某些场合中有关鸟巢荫蔽的程度，和雌者色彩的显著程度等问题还存在着一些疑问，可是把卵产于穴中或圆顶鸟巢内的下述鸟类，根据上述标准几乎不能认为它们是色彩显著者：麻雀，有两个物种，椋鸟（*Sturnus*）其雌者不及雄者鲜艳远甚，河乌属（*Cinclus*），脊鸰（*Motaccilla boarula*（?）），鸲属（*Erithacus*（?）），灌木鹟属（*Fruticola*）有两个物种，石鵖属（*Saxicola*）；红尾鸲属（*Ruticilla*），有两个物种；莺属（*Sylvia*），有三个物种，山雀属（*Parus*），有三个物种，长尾鸟属（Mecistura）Anorthura，旋木雀属（Certhia），䴓属（Sitta）蚁䴏属（Yunx）；鹟属（Muscicapa）有两个物种，燕属（Hirundo）有三个物种，以及雨燕（*Cypselus*）。下面12种鸟类之雌者按同一个标准衡量可视为色彩显著者，即，粉红椋鸟（*Pastor*），白鹡鸰（*Motacilla alba*），大山雀（*Parus major*）和青山雀（*P. caeruleus*），戴胜属（*Upupa*），啄木鸟属（*Picus*）四个物种，佛法僧属（*Coracias*），翠鸟属（*Alcedo*）和蜂虎属（*Merops*）。

纹黑鹟差异较小，而普通雌鹟和雄鹟几乎完全没有差异；可是它们做的巢全都是开放的。反之，同上述鸟类亲缘关系不很远的河乌则营造一种圆顶鸟巢，其雌雄二者之间的差异程度却和环形黑鹟的情形一样。黑松鸡和红松鸡在同等十分荫蔽的地点营造开放的巢，但其中一个物种的雌雄二者差异很大，而另一物种的雌雄二者差异却很小。

尽管有上述同华莱士先生的论点相矛盾的事实，但读了他那篇优秀的论文之后，我还是不能怀疑：从全世界的鸟类来看，确有大多数物种，其雌鸟色彩显著者（在这种场合中，除很少例外，其雄鸟的色彩也同等显著），为了保护自己而营造荫蔽的巢。华莱士先生列举了[①]长长的一系列类群合乎这一规律；但在这里，举出一些比较驰名的类群，如翠鸟、鹦鹉、咬鹃、须䴕科、蕉鹃、啄木鸟以及鹦鹉，就足够了。华莱士先生相信，在这些类群中，由于雄鸟通过性选择逐渐获得了其鲜艳色彩，这些鲜艳色彩遂传递给雌鸟，因为雌鸟们的造巢方式已经使它们得到了保护，所以没有因自然选择而消灭。按照这个观点，它们现在的作巢方式的获得先于它们现在的色彩的获得。但是，在我看来，远远更加可能的是，在大多数场合中，由于雌鸟分享了雄鸟的色彩而逐渐变得越来越鲜艳，所以导致它们逐渐改变了其本能（假定它们原来造的是开放的巢），而营造有圆顶的或荫蔽的巢，以寻求保护。关于美国北部和南部的同一物种的鸟巢差异，奥杜邦作过报道[②]，譬如说，凡是读过这篇报道的人，就不会感到任何重大困难去承认：鸟类，或通过其习性的改变（按其严格的字义来讲），或通过本能的所谓自发变异的自然选择，大概会容易地被引导去改变其造巢方式的。

---

① 《旅游杂志》，默里编，第1卷，78页。

② 参阅《鸟类志》中的许多论述，再参阅尤哥蒙·比托尼（Eugemo Bettoni）对意大利的鸟巢所作的一些奇妙考察，见《意大利科学协会会报》（*Atti della Societa Italiana*），第6卷，1869年，487页。

关于雌鸟的鲜明色彩和其造巢方式之间的关系，这种观察方法，就其所能适用的范围来看，可以从撒哈拉沙漠所发生的某些事例得到支持。在那里，就像在其他大多数沙漠那样，各种鸟类以及其他许多动物的色彩以可惊的方式同周围地面的色泽相适应。尽管如此，正如特里斯特拉姆牧师告诉我的，关于这一规律还有一些奇妙的例外；如矶鸫的雄者因其鲜明的蓝色而惹人注目，其雌者因其褐色和白色相杂的羽衣几乎同等地惹人注目；白尾岩鸫有两个物种，其雌雄二者都有一种黑色光泽；因此，这三个物种因其色彩而远远不能得到保护，但它们还是能够生存下来了，这是因为它们已经获得了在洞穴中或岩石裂缝中躲避危险的习性。

关于雌鸟既有显著色彩又造荫蔽鸟巢的上述类群，不需要假设每个物种的造巢本能分别地发生过特殊的改变；只不过是每个类群的早期祖先逐渐被引导去建造圆顶的或荫蔽的鸟巢，而且，后来又把这种本能以及鲜明的色彩一起传递给其变异了的后代。就所能相信的来说，下述结论是有趣的，即，性选择以及雌雄二者相等的或几乎相等的遗传性，曾经间接地决定了整个鸟类的造巢方式。

有些类群的雌鸟由于在孵卵期间受到了圆顶鸟巢的保护，所以其鲜明色彩未曾通过自然选择而被消除，按照华莱士先生的意见，即使在这种场合中，雄鸟和雌鸟往往还有轻微的差异，有时有很大程度的差异。这是一个有重要意义的事实，因为对于这等色彩的差异一定要以雄者的某些差异从一开始就限于只向同一性别传递来进行解释；必须做如此解释的原因在于，简直不能认为这等差异可以用于保护雌者；如果这等差异轻微就尤其如此。例如，在三宝鸟这一华丽类群中，所有物种都在穴中造巢；古尔德先生提供了其 25 个物种的雌雄二者的绘图[①]，其中除有一个物种表现了局部

① 见其《咬鹃科(Trogonidae)专论》一书，第1版。

的例外，全部物种的雌雄二者的色彩有时差异轻微，有时差异显著——尽管这等雌鸟也同样好看，但雄鸟总是比雌鸟更漂亮。翠鸟的所有物种都在穴中造巢，而且大多数物种的雌雄二者的色彩都同等鲜艳，因此华莱士先生的规律在此颇为适用；但在某些澳大利亚物种中，雌鸟的色彩比雄鸟的稍欠鲜艳；还有一个色彩华丽的物种，其雌雄二者的差异如此之大，以致最初一看会把它们当作不同的物种①。对这个类群进行过特别研究的夏普先生给我看过一些美国的物种鱼狗，其雄者胸部有黑色带斑。此外，还有一种翠鸟，其雌雄二者差异显著：雄鸟上表面呈暗蓝色，具有黑色带斑，下表面局部呈淡黄褐色，而头部甚红，雌鸟上表面呈红褐色，具有黑色带斑，下表面呈白色，并有黑色斑纹。有一个有趣的事实，表明雌雄色彩的同一独特样式往往构成了亲缘相近的诸类型的共同特征，在鸡属的三个物种中，雄鸟不同于雌鸟之处仅在于前者的尾羽呈暗蓝色并具黑色带斑，而雌鸟的尾羽则为褐色并具微黑的条纹；因此，在这里雌雄二者尾羽色彩的差异恰如上述翠鸟雌雄二者整个上表面色彩的差异一样。

关于同样在穴中造巢的鹦鹉类，我们发现有相似的事例：大多数物种的雌雄二者的色彩都是鲜艳的，而且难以区分，但也有不少的物种，其雄色的色彩比雌者的更加鲜艳，甚至和雌者的很不相同。例如，除了其他强烈显著的差异之外，雄性澳洲猩猩鹦鹉的整个下表面均呈猩红色，而雌者的喉部和胸部则为绿色，带有红的色调。另一种鹦鹉也有类似的差异，其雌者的脸部和翼覆羽的蓝色都比雄者的为淡②。在营造荫蔽巢的山雀科中，英国普通蓝山雀的雌者在色彩上远不及雄者的鲜明。而印度的华丽的苏丹黄山雀其雌

① 即深蓝翠鸟(*Cyanalcyon*)。见古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，133页、130页、136页。

② 雌雄之间各个级进差异可以在澳洲鹦鹉中追查出来。见古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第2卷，14—102页。

雄二者的差异还要大①。

此外,在啄木鸟这个大类群②中,其雌雄二者一般差不多是相像的,但是,大型绿啄木鸟雄者的头部、颈部和胸部呈艳红色,而雌者的所有这等部分则为淡褐色。由于几种啄木鸟的雄者头部呈鲜明的艳红色而雌者头部的色彩是平淡的,所以在我看来,如果雌者具有雄者头部的那种色彩,只要它把头伸出鸟巢洞口之外,就可能有惹起注目的危险,因而按照华莱士先生的信念,雌者头上的这种色彩被消除了。马勒布关于印度啄木鸟的叙述加强了这个观点;他说,幼小的啄木鸟不分雌雄,它们的头部稍呈艳红色,但在成熟后而雌啄木鸟头部这种色彩就消失了,雄啄木鸟头部这种色彩却加强了。尽管如此,下述考察还是使这个观点显得极其可疑:雄啄木鸟在孵卵期间也承担了相当的责任③,这就使得它们几乎相等地暴露于危险之中;有许多物种,其雌雄二者的头部具有同等鲜明的艳红色;另外有些物种,其雌雄二者的猩红色差异程度如此轻微,以致几乎不能在招致危险方面形成任何可以觉察的差别;最后,雌雄二者头部的色彩也往往在其他方面有轻微的差异。

在雌雄二者按照一般规律彼此相似的那些类群中,凡是雌雄之间在色彩上有轻微的和级进的差异者,迄今所举的事例,都与营造圆顶鸟巢或荫蔽鸟巢的物种有关系。但是,有些类群的雌雄二者按照一般规律是彼此相似的,但营造开放的鸟巢,在这等场合中同样可以观察到相似的级进差异。

由于我在前面曾以澳洲鹦鹉为例,因此我愿在这里以澳大利

① 麦克吉利夫雷的《英国的鸟类》,第2卷,433页。杰尔登,《印度的鸟类》,第2卷,282页。

② 所有以下事例全引自马勒布的巨著《啄木鸟类专论》(Monographie des Picidées),1861年。

③ 奥杜邦的《鸟类志》,第2卷,75页;再参阅《彩鹮》,第1卷,268页。

亚鸽类为例[1]，但不举任何细节。值得特别注意的是，在所有这些场合中，雌雄二者羽衣的轻微差异的一般性质同偶而出现的较大差异的一般性质是相同的。关于这个事实，那些翠鸟已经提供了良好的例证，其雌雄二者或仅在尾羽或在羽衣的整个上表而都以同样的方式而有所差异，相似的情况也可在鹦鹉类和鸽类中观察到。同一物种的雌雄二者之间在色彩上的一般差异性质也和同一类群的不同物种之间在色彩上的一般差异性质相同。这是因为在雌雄二者通常彼此相似的类群中，如果雄者相当不同于雌者，那么雄者色彩的风格并不见得是全新的。因此我们可以推断说，在同一类群中，雌雄二者彼此相似时的特殊色彩，以及雌雄二者稍微不同，甚至相当不同时的雄者色彩，在大多数场合中，都是由相同的一般原因所决定的；这个原因就是性选择。

正如已经说过的，雌雄二者之间的色彩差异如果很轻微，这种差异对于保护雌鸟大概就不会有什么作用。然而，假定这等差异有这种作用，那大概就会认为它们是处于过渡状态；但我们没有理由相信许多物种都同时发生变化。因此我们简直无法承认在色彩上和其雄鸟差异很轻微的大量雌鸟为了保护自己现在一齐开始变得色彩暗淡了。即使我们考察多少更为显著的雌雄差异，例如雌欧洲苍头燕雀的头部，——雌红腹灰雀胸部的艳红色彩，——雌金翅雀的绿色，——雌金冠鹪鹩的冠羽，是否可能全是为了保护自己而在缓慢的选择过程中变得较不鲜明吗？我不能认为是这样；尤以营造荫蔽鸟巢的那些鸟类的雌雄之间差异轻微者，更不是这样。反之，雌雄之间的色彩差异，不论大小，都可以在相当大的程度上根据连续变异的原理得到说明，即，雄鸟通过性选择所获得的连续变异，从一开始就或多或少地限于只传递给雌性一方。在同一类群的不同物种中，这种传递的限制程度大概也是不同的，凡是研究过遗传

[1] 古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第2卷，109—149页。

法则的任何人对此都不会感到惊奇，因为这等法则是如此复杂，而且由于我们的无知，在我们看来，其作用好像是彷徨不定[①]的。

就我所能发现的情况来说，在鸟类中只有少数大的类群，其所有物种的雌雄二者都彼此相似，而且都具有鲜明的色彩，我听斯克来特先生说，蕉鹃似乎就是如此。我也不相信有任何这样大的类群存在，其全部物种的雌雄二者在色彩上会有天壤之别：华莱士先生告诉我说，南美洲的伞鸟科在这方面提供了一个最好的例子；在其中有些物种，其雄鸟的胸部呈美艳的红色，而雌鸟的胸部也稍微呈现一点红色；其他物种的雌鸟也表现了雄鸟所具有的绿色和其他色彩的痕迹。尽管如此，我们还有一些近似的事例表明，在几个类群中其全部物种的雌雄二者都是密切相似的，或者是不相似的。而这一点，从刚才所说的遗传的彷徨性质来看，乃是一个多少令人奇怪的情况。家鸡已经产生了大量的品种和亚品种，它们的雌雄二者的羽衣一般都有差异；所以当某些亚品种出现了雌雄二者彼此相似的现象时就会被看作是一种异常的情况。另一方面，家鸽也同样产生了一大批不同的品种和亚品种，除了罕见的例外，它们的雌雄二者都是完全相似的。

因此，鸡属和鸽属的其他物种如果经过家养和变异，那么我们预言由遗传形式所决定的雌雄相似和不相似的同样规律在这两种场合都可适用，并不算轻率。和上述一样，在自然状况下，同样的传递方式一般也通用于相同的整个类群，尽管对这一规律还有一些显著的例外。这样，在同一科里，甚至在同一属里，其雌雄二者的色彩或完全相同，或差异很大。关于同一属的这等事例早已举出过了，诸如麻雀、鹟科食虫鸟、画眉和松鸡的例子。在雉科中，几乎所有物种的雌雄二者都非常不相似，但马鸡的雌雄则完全相似。鹅的一个属，即白雁属，其两个物种的雄者除体型大小外，在其他方面

① 关于这种效果，参阅我的《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，第12章。

都无法同雌者区别；而另外两个物种，其雌雄二者如此不相似，以致容易地把它们误作不同的物种[1]。

只有用遗传规律才能说明下述情况，即，雌者在其生命后期获得了雄者所特有的某些性状，最终会或多或少地同雄者完全相似。"保护"在这里几乎不起作用了。布莱思先生告诉我说，黑头黄鹂以及某些亲缘相近的物种，其雌者当成熟到足以生殖时，它的羽衣同成熟雄者的羽衣差异很大；但在第二次或第三次换羽后，雌鸟们和雄者的差异仅仅在于其鸟喙有一种淡绿色彩而已。在矮小的鸦属中，根据布莱思的意见，"其雄者在第一次换羽时就获得了其最后羽衣，而雌者在第三或第四次换羽之后才获得其最后羽衣，这时它的羽衣呈现一种中间的色彩，最终乃换成与雄者一样的羽衣。"还有游隼的雌者也是这样，它获得蓝色羽衣比雄者较慢。斯温赫先生说，有一种黑卷尾，其雄者当几乎还是未离巢的雏鸟时，就换掉柔软的褐色羽衣，而变成均匀的富有光泽的绿黑色了；但是，其雌者却长期在腋羽上保持着白色条纹和斑点；而且历时三年后才呈现雄者那样的均匀黑色。这位杰出的观察家说，中国的雌琵鹭在第二年春天才同第一年的雄者相像，显然，不到第三年春季它不会获得雄者在早得多的年龄所具有的那样成年羽衣。加罗林太平鸟的雌者和雄者的差异很小，但其翼羽上有一种火红色念珠般的装饰物[2]，这种附器在雌者身上发育比在雄者身上要晚得多，印度的长尾鹦哥，其雄者的上喙生出不久即呈珊瑚红色，但其雌者的上喙，如布莱思先生就笼养的和野生的这种鸟所观察到的，最初是黑色，至少在一岁以后才变为红色，这时雌雄二者在各方面都相似了。野火鸡雌雄二者的胸部最终都会具有一簇刺毛，但在两岁时，雄的这

---

① 《彩鹮》，第6卷，1864年，122页。

② 雄鸟在追求雌鸟时，这些装饰都在颤动，并展翅以"卖弄其巨大优越性"，见利思·亚当斯的论述，《田野和森林散记》，1873年，153页。

簇刺毛约为四英寸长，而雌的这簇刺毛，还不十分显露；要到四岁时，这簇刺毛才长达四五英寸①。

千万不要把这等事例同下述情况混淆起来，即，有病的或年老的雌者会反常地呈现雄性特征，或者，能育的雌者在幼小时通过变异或某种未知的原因而获得雄者特征②。但所有这等事例都有一个密切的共同点，即，根据泛生论的假说，它们是由来自雄者身体各个部分的芽球所决定的，这等芽球在雌者身上也是存在的，却处于潜伏状态；芽球的发育乃是由雌者构造组织的选择亲合力的轻微变化所左右的。

还必须对羽衣的季节性变化稍作补充。根据以前所举出的那些理由，关于白鹭、苍鹭以及其他许多鸟类只在夏季发育和保持的华丽羽饰、下垂的长羽、冠毛等系用于装饰和婚配的目的，并无多大可疑之处，虽说这等羽毛为雌雄二者所共有。这样就会使雌鸟的色彩在孵卵期间比在冬季更显著；但是，像苍鹭和白鹭这等鸟类大概是能够保卫自己的。然而由于羽饰在冬季大概会带来不方便而且确实没有用处，所以可能通过自然选择而逐渐获得了一年换羽两次的习性，这是为了到冬季去掉其不方便的装饰物的缘故。但这个观点不能引伸到许多涉禽类，它们的夏羽和冬羽在色彩上差别

---

① 关于鳽属（*Ardetta*），见居维叶的《动物界》（159 页脚注），布莱思译。关于游隼，参阅布莱思先生的著述，见查尔斯沃思编的《博物学杂志》，第 1 卷，1837 年，304 页。关于卷尾属，见《禾鹮》，1863 年，44 页。关于琵鹭，见《禾鹮》，第 6 卷，1864 年，366 页，关于太平鸟属（*Bombycilla*），见奥杜邦的《鸟类志》，第 1 卷，229 页。关于长尾鹦哥属（*Palaeornis*），再参阅杰尔登的《印度的鸟类》，第 1 卷，263 页。关于野火鸡，见奥杜邦的《鸟类志》，第 1 卷，15 页；但我听卡顿（J. Catón）说，在伊利诺斯，雌野火鸡获得一簇硬毛者很少。关于岩栖鸣禽类（*Petrocossyphus*）的雌者，夏普先生在《动物学会会报》（1872 年，496 页）举出过类似事例。

② 有关后面这些情况，布莱思先生曾就伯劳属（*Lanius*）、鹟属（*Ruticilla*）、朱顶雀属（*Linaria*）和鸭属（*Anas*）记载下许多例子，居维叶的《动物界》英译本，158 页。关于 *Pyranga aestiva*，奥杜邦也记载过一个相似的事例（《鸟类志》，第 5 卷，519 页）。

很小。关于不能自卫的物种，凡雌雄二者或只有雄者的色彩，在生殖季节变得极其显著者，——雄者在这个季节获得那样长的以致妨碍其飞翔的翼羽或尾羽者，如非洲小型夜鹰和黑羽长尾鸟，最初看来，肯定高度可能的是，第二次换羽习性的获得乃是专门为了去掉这等装饰物。然而，我们必须记住，有许多鸟类，如某些极乐鸟、锦雉和孔雀，在冬季并不脱落其羽饰；而且几乎不能认为这些鸟类的体质，至少是鹑鸡类的体质，使它们不可能有两次换羽的习性，因为雷鸟就一年换羽三次[①]。因此，在冬季脱换其羽饰或失去其鲜明色彩的许多物种，是否为了免除不便或危险，不然就要受害而获得了这种习性，仍属疑问。

所以我的结论是，获得一年换羽两次的习性在大多数或所有场合中首先是为了某种不同的目的，也许是为了得到比较暖和的冬装；而羽衣在夏季发生的那些变异则是通过性选择而被积累起来的，并在每年的同一季节传递给其后代；这等变异或被雌雄双方所继承，或只被雄性一方所继承，视何种遗传形式占主导地位而定。这一结论比下述见解似乎更为合理，即，物种在所有场合中原本都倾向于在冬季保持其装饰性的羽衣，但由于它带来了不便或危险，结果通过自然选择而摆脱了这种倾向。

有人认为，武器、鲜明色彩以及各种装饰物现在只限于雄者所有，乃是由于通过性选择这等性状向雌雄双方同等传递转变为只向雄性一方传递的缘故，我在本章曾试图阐明支持这一观点的论证是不可信的。许多鸟类雌者的色彩是否由于为了保护自己而把最初只限于向雌性一方传递的那些变异保存了下来，也是可疑的。但是，对这个问题的进一步探讨，留待下一章我讨论幼鸟和老鸟的羽衣差异时再进行。

---

① 古尔德，《英国的鸟类》。

第十六章

鸟类的第二性征(续完)

雌雄二者成熟时的羽衣性状同未成熟时羽衣的关系——六大类别的事例——亲缘密切相近的物种或典型的物种的雄鸟之间的性差异——雌鸟呈现雄鸟的性状——幼鸟羽衣同成鸟夏羽和冬羽的关系——关于全世界鸟类美丽的增加——保护色——色彩显著的鸟类——对新奇的欣赏——有关鸟类四章的提要。

我们现在必须考察同性选择有关的受到年龄限制的性状传递。关于在相应年龄的遗传原理的真实性和重要性没有必要在此多赘，因为对这个问题已经进行过足够的讨论了。在列举我所知道的有关幼鸟和老鸟羽衣差异的几项相当复杂规律或几类事例之前，最好先稍做序论如下。

在所有动物种类中，如果成年动物的色彩异于幼年动物，且幼年动物的色彩，就我们所能知道的来说，并没有任何特殊的用途，则幼年动物的色彩正如各种胚胎的构造那样，乃是以往性状的保留。但是，只有当几个物种的幼年动物密切相似同时和属于同一类群的其他成年物种密切相似时，才能有把握地坚持这一观点，因为后者乃是这种状况在以往可能存在过的活证据。幼狮以及幼美洲狮都有不明显的条纹或成行的斑点，而且像许多亲缘相近的物种那样，无论幼者或老者都有相似的斑记，凡是相信进化论的人都不会怀疑狮和美洲狮的祖先都是一种具有条纹的动物，而且其幼者

就像黑色小猫那样，保持了这等条纹的残迹，可是黑色小猫一长大就没有一点这种条纹的残迹了。许多鹿的物种在成熟时没有斑点，而在幼小时都布满了白色斑点，就像某些少数物种在成长状态时那样。再者，还有整个猪科的幼者以及某些亲缘关系相当远的动物，如貘的幼者，都有暗色纵条纹；但我们在这里所看到的显然是来自一个绝灭祖先的性状，而现在只被幼者所保存。在所有这等场合中，老年动物的色彩随着岁月的推移而发生改变，但幼年动物仍保持原样，很少改变，这是通过在相应年龄遗传的原理来实现的。

这同一原理可以应用于各个类群的许多鸟类；它们的幼者彼此密切相似而同各自的成年父母差异很大。几乎所有鹑鸡类的幼者以及某些远缘的鸟类，如鸵鸟类的幼者，都被有纵条纹的绒毛；幼小嘴雀最初具有直喙，同其他燕雀类的喙相似，它们未成熟时的具有条纹的羽衣则同成熟红雀和成熟雌金雀的羽衣相类似，也同金翅雀、绿鹮以及其他一些亲缘相近的物种的幼者羽衣相类似。有许多种类的鹀，其幼者彼此相似，也同普通鹀的成年状态相类似。在鸫的差不多整个大类群中，其幼者的胸部都具有斑点——这是许多物种终生保持的一种性状，但其他物种却完全失去了这种性状，如候鸫即是。再者，许多鸫类的背部羽毛在第一次换羽前都是杂色的，这是某些东方物种终生保持的一种性状。伯劳属许多物种的幼者，一些啄木鸟和一种印度的绿背金鸠的幼者，其体部底面具有横条纹；而某些亲缘相近的物种或整个属当成年时也有相似的斑记。在一些亲缘相近、色彩灿烂的印度金色杜鹃中，成熟的物种彼此在色彩上差异相当大，然而它们的幼者则无法区别。一种印度瘤鸭的幼者在羽衣方面同一个亲缘相近的属，即树鸭的成熟者密

切相似[1] 黑琴鸡的幼者同某些其他物种，如红松鸡的幼者及成年鸡相类似。最后，正如精密研究过这个问题的布莱思先生所恰当说过的，许多物种的未成熟羽衣最好地表现了它们的自然亲缘关系；由于所有生物的真正亲缘关系都是由它们来自一个共同祖先这一事实所决定的，因此布莱思先生的这个意见有力地证实了一个信念：即，未成熟的羽衣大致向我们表明了该物种以前的或祖代的状态。

各个不同科的许多幼鸟虽然这样隐约地闪现了其遥远祖先的羽衣状况，但还有其他许多鸟类，无论色彩暗淡的或色彩鲜明的，其幼者却和它们的父母密切类似。在这种场合中，不同物种幼者的彼此相似就不能比它们和各自父母的相似更为密切；当它们成长时也不能和亲缘相近的类型显著相似。它们只不过使我们稍微知道一点其祖先的羽衣状况而已，除非整个类群的所有物种的幼鸟和老鸟都具有同样的一般色彩，否则其祖先大概不会具有相似的色彩。

现在我们要对各类的事例进行考察，以便把雌雄双方或单独一方的幼鸟和老鸟在羽衣方面的差异和相似加以分类。这等规律首先是由居维叶提出的；但随着知识的进展，需要对它们做某种修改和补充。在这个问题的极端复杂性所允许的范围内我曾试图根据从不同方面得到的材料来完成这一工作；但由一位有才华的鸟类学家就这个问题写出一篇内容充实的论文还是非常需要的。为了证实每个规律可以通用到什么程度，我把四种巨著所举出的事

① 关于鹟、伯劳和啄木鸟，参阅布莱思的论述，查尔斯沃思上编的《博物学杂志》，第1卷，1837年，304页；以及他译的居维叶的《动物界》一节，159页脚注。我举出的交喙鸟属的例子系根据布莱思先生的材料。关于鹟，再参阅奥杜邦的《鸟类志》，第2卷，195页。关于金色杜鹃和印度鸽，参阅布莱思的论述，在杰尔登《印度鸟类》，第2卷，485页引用。关于瘤鸭，参阅布莱思的论述，《彩鹳》，1867年，175页。

实列成了表，这些著作是麦克吉利夫雷关于英国鸟类的著作，奥杜邦关于北美鸟类的著作，杰尔登关于印度鸟类的著作以及古尔德关于澳大利亚鸟类的著作。我在这里可以先谈谈，第一，有若干事例或规律在逐渐互相转化，第二，当提到幼鸟同其父母相似时，并不是说它们是完全相像的，因为幼鸟的色彩几乎永远不及父母的鲜艳，而且其羽毛比较柔软，羽毛形状也往往不同。

规律或事例的分类

（一）如果成年雄鸟比成年雌鸟更为美丽或更为显著，则雌雄幼鸟在第一次羽衣方面同成年雌鸟密切相似，普通家鸡和孔雀就是如此；或者，像偶尔发生的情况那样，它们同成年雌鸟的相似远比同成年雄鸟的相似更为密切得多。

（二）如果成年雌鸟比成年雄鸟的色彩更为显著，则雌雄幼鸟在第一次羽衣方面同成年雄鸟相似，这种情况有时发生，但不多见。

（三）如果成年雄鸟同成年雌鸟相似，则雌雄幼鸟具有特殊的羽衣，如欧鸲的情况就是如此。

（四）如果成年雄鸟同成年雌鸟相似，则其雌雄幼鸟在第一次羽衣方面同成鸟相似，如翠鸟、多种鹦鹉、乌鸦以及篱莺即是。

（五）如果雌雄成鸟的冬羽和夏羽不一样，不论雄鸟和雌鸟是否有所不同，其幼鸟在冬羽方面同雌雄成鸟相似；或者，其幼鸟在夏羽方面同雌雄成鸟相似，但这种情形要罕见得多；或者，幼鸟同雌鸟相似。或者，幼鸟可能具有一种中间的性状；再不然，它们同成鸟的冬羽和夏羽都迥然不同。

（六）在少数场合中，雌雄幼鸟的第一次羽衣彼此相异；幼年雄鸟多少同成年雄鸟密切相似，而幼年雌鸟多少同成年雌鸟密切相似。

第一类　在这一类中，幼年的雌雄二者同成年的雌鸟多少密切相似，而成年的雄鸟同成年的雌鸟则有差异，而且其差异往往极为显著。在所有的“目”中可以举出无数这类例子；只要想一想普通雉、鸭和家雀的例子就足够了。这样，其雌雄二者在成年时的差异如此轻微，而且幼鸟同成鸟的差异也如此轻微，以致令人怀疑这等事例究竟应该归入现在这一类还是应该归入第三类或第四类。此外，幼年的雌雄二者不但不十分相似，反而可能有轻微程度的差异，如第六类所示。然而，这些过渡性的事例还是少数，或者说，同那些可以严格归入现在这一类的事例比较起来，至少不是非常显著的。

按照一般规律雌雄二者同幼鸟全都相似的那些类群，完善地阐明了现在这法则的确切含义；因为在这等类群中，如果雄鸟和雌鸟确有差异，如某些鹦鹉、翠鸟、鸽子等的情况，那么幼年的雌雄二者就会同成年的雌鸟相似①。我们看到在某些异常的场合中同样的事实表现的更加明显；例如黑耳仙蜂鸟，其雄者显著不同于雌者，因为雄者具有美丽的新月形颈饰和耳簇毛，而雌者的尾羽由于比雄者尾羽长得多而著称；那么，幼年的雌雄二者（除胸部有青铜色斑点外）同成年的雌鸟在所有其他方面都相似，包括尾羽的长度在内，所以雄鸟到了成熟时，其尾羽实际上是变短了，这是一种极

① 请参阅例如古尔德对 *Cyanalcyon*（蓝翠鸟的一种）的说明（《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，133页），其幼年雄鸟虽与成年雌鸟相似，但色彩鲜艳较差。在鸡属的一些物种中，其雄鸟具有蓝色尾羽，而雌鸟的尾羽却呈褐色；夏普先生告诉我说，有一种鸡（*D. gaudichaudi*），其幼年雄鸟的尾羽最初呈褐色。古尔德先生曾描述过某些黑色美冠鹦鹉和大型长尾鹦鹉的雌雄二者及其幼鸟，它们也受同一规律所支配。还有杰尔登关于红色鹦哥（*Palaeornis rosay*）的论述（《印度鸟类》，第1卷，260页），它的幼鸟同雌鸟的相似胜于同雄鸟的相似。参阅奥杜邦关于雀形鸽（*Columba passerina*）雌雄二者及其幼鸟的论述（《鸟类志》，第2卷，475页）。

不寻常的情况[①]。再者，雄秋沙鸭的羽衣色彩要比雌者的更显著，肩羽和次级翼羽都长得多；但成年雄鸟的冠羽，就我所知，同其他任何鸟类的都不同，虽比雌鸟的宽，却相当地短，其长度只有一英寸刚出头；而雌鸟的冠羽竟有二英寸半长。于是，幼年的雌雄二者同成年的雌鸟完全相似，所以幼鸟的冠羽实际上长度较大，虽然比成年雄鸟的冠羽较窄[②]。

如果幼鸟同雌鸟密切相似，而且二者都同雄鸟相异，则最明显的结论是只有雄鸟发生了变异。即使在黑耳仙蜂鸟和秋沙鸭那样异常的场合中，可能是其中一个物种的成年雌雄二者最初具有大大加长了的尾羽，另一个物种的成年雌雄二者具有大大加长了的冠羽——此后由于某种无法解释的原因，成年雄鸟部分地失去了这等性状，并以减弱的状态只把这等性状传递给在相应成熟年龄的雄性后代。在本类的事例中只有雄鸟发生改变，这一信念，就雄鸟和雌鸟及其幼鸟之间的差异而言，得到了布莱思先生所记载的一些显著事实的有力支持[③]，这些事实是关于不同地方的可以互相代表的近亲物种的情况。因为，若干这等代表性的物种，其成年雄鸟发生了一定程度的变异，而且是可以区别的；来自不同地方的雌鸟和幼鸟却是无法区别的，因此它们绝对没有发生过变化。某些印度鸣禽类、某些花蜜鸟、林鸮、某些翠鸟类、卡利雉[④]以及树鹧鸪的情况都是如此。

在某些类似的场合中，即夏羽和冬羽相异而雌雄相似的鸟类，

① 关于这个材料，我感谢古尔德先生，他给我看过这些标本，再参阅他的《蜂鸟科导论》，1861年，120页。

② 麦克吉利夫雷，《英国鸟类志》，第5卷，207—214页。

③ 参阅他的可钦佩的论文，见《孟加拉亚细亚协会杂志》，第19卷，1850年，223页；再参阅杰尔登的《印度鸟类》，第1卷，导言，第29页。关于翠鸟类，施勒格尔(Schlegel)教授告诉布莱思先生说，他根据对成年雄鸟的比较，就能区别若干不同的族。

④ Kalij pheasant，为Kallege的一个变种，同银雉的亲缘关系相近。——译注

其某些亲缘密切相近的物种可以容易地从其夏羽或婚羽加以区别，然而从其冬羽以及未成熟的羽衣方面则无法加以区别。某些亲缘密切相近的印度鹡鸰的情况就是如此。斯温赫先生告诉我说[①]，苍鹭有一个属叫作池鹭属，它的三个物种分居于各大陆，它们的夏羽，“彼此差异极为显著”，但到了冬季它们简直完全没有区别。这三个物种的幼鸟的未成熟羽衣同成鸟的冬羽密切相似。这一情况越发有趣，因为池鹭属另外两个物种的雌雄二者的冬羽和夏羽同上述三个物种的冬羽及其未成熟羽衣差不多是一样的；几个不同物种在不同年龄和不同季节中所共有的这种羽衣大概向我们阐明了该属的祖先具有同样的色彩。在所有这些场合中，婚羽已发生了变异，而冬羽和未成熟羽衣则保持不变；我们可以假定婚羽原本是由成年雄鸟在生殖季节中获得的，并且在相应的季节传递给成年的雌雄二者。

问题于是由此产生：在后面这些场合中雌雄二者的冬季羽衣，并且在前面那些场合中成年雌鸟的羽衣，以及幼鸟的未成熟羽衣，何以完全没有受到影响呢？那些在不同地方互为代表的物种几乎总是处于多少不同的条件下，但我们简直不能把只有雄鸟羽衣发生变异的这种情况归因于这一作用，因为雌鸟和幼鸟虽然也处于同样的条件下，却没有受到影响。几乎没有任何事实比许多鸟类雌雄二者的惊人差异更清楚地向我们阐明，同无限变异通过选择的积累相比，生活条件直接作用的重要性就显得非常次要了；因为雌雄二者都吃相同的食物并处于相同的气候中。尽管如此，我们并不排除下述信念，即，随着岁月的推移，新的条件可能对雌雄双方都发生某种直接作用，或者，由于雌雄之间的体质差异，只对某一性别发生作用。我们看到的只是同选择的积累结果相比，其重要性就

① 再参阅斯温赫先生的论述，《彩鹮》，1863年7月，131页，以前还有一篇论文，附载布赖茨先生的笔记摘要，见《彩鹮》，1861年1月，25页。

是次要的了。然而，根据广泛的类推来判断，当一个物种迁入一处新地方时(这必定发生在形成代表性物种之前)，它们几乎总要处于改变了的外界条件之中，这等外界条件将致使它们发生一定程度的彷徨变异。在这种场合中，受一种易变因素所左右的性选择——雌者的审美力或鉴赏力——将会对新的色调或其他差异发生作用并把它们积累起来；由于性选择经常在起作用，所以，根据我们所知道的人类对家养动物所进行的无意识选择的结果来源，如果居住在隔离地区的、因而决不能够杂交并把它们新获得的性状混合起来的那些动物，经过了充分的时间以后还没有发生不同的变异，那将是一件怪事。这些意见同样可以应用于婚羽或夏羽，不论它们为雄鸟所专有，或为雌雄二者所共有，都是一样。

虽然上述亲缘密切相近的或代表性的物种的雌鸟及其幼鸟彼此几乎完全没有区别，所以可以区别的只有它们的雄鸟，可是同一属中大多数物种的雌鸟显然还是有区别的。然而雌鸟之间的差异程度象雄鸟之间差异那么大的，则属罕见。我们在整个的鹑鸡科中清楚地看到了这一点：例如，普通雉和日本雉的雌者，特别是金雉和云实树雉的雌者——银雉和野鸡的雌者——彼此在色彩上都很近似，而其雄者之间的差异都达到了异常的程度。伞鸟科、燕雀科以及其他许多科的大多数物种的雌鸟都是如此。按照一般规律，雌鸟的改变不及雄鸟那样大，确无疑问。然而，少数某些鸟类提供了一个异常而费解的例外；例如极乐鸟和巴布亚极乐鸟的雌者之间的差异大于它们同各自雄鸟之间的差异[1]；后一物种的雌者的体部底面为纯白色，而极乐鸟的雌者的体部底面则为深褐色。再者，我听牛顿教授说，伯劳类有两个在毛里求斯岛和波旁岛互为代表

① 华莱士，《马来群岛》，第2卷，1869年，394页。

的物种，其雄鸟彼此只在色彩上稍有差别，而雌鸟彼此差异甚大①。在波旁岛的那个物种的雌鸟似乎部分保持了羽衣的未成熟状态，因为乍一看来，雌鸟"会被当作毛里求斯的那个物种的幼鸟。"这等差异可同那些和人工选择无关的某些斗鸡亚品种的差异相比拟，这些亚品种雌鸡彼此很不相同，而雄鸡则几乎无法加以区别②。

关于亲缘相近的物种，其雄鸟之间的差异，我既然用性选择进行了大量的说明，那么对所有普通场合中的雌鸟之间的差异，又该如何解释呢?我们没有必要在这里去考察不同属的物种；因为对这些物种来说，对不同生活习性的适应以及其他动因都会发生作用。关于同属的雌鸟之间的差异，在我观察了各个大类群之后，几乎可以肯定其主要动因乃是雄鸟所获得的性状通过性选择或多或少地传递给了雌鸟。在若干英国鸴类中，其雌雄二者之间的差异或很轻微或很显著；如果我们把绿鸴、苍头燕雀、金翅雀、红腹灰雀交喙鸟、麻雀等的雌者加以比较，我们就会看出它们之间的差异之点主要在于它们同各自雄鸟局部相似的那些部分；而雄鸟的色彩可以稳妥地归因于性选择。关于许多鹑鸡类的物种，雌雄之间的差异已经达到了极度，如孔雀、雉以及家鸡的情况就是如此，另外还有一些物种，其雄鸟的性状部分地或者甚至全部地传递给了雌鸟。因花雉类若干物种的雌者以一种模糊的状态表现了其雄者所具有的华丽眼斑，尤以尾部为甚。雌鹧鸪和雄鹧鸪的差异之处仅仅在于雌者胸部的红斑较小；而雌野火鸡和雄野火鸡的差异之处则在于雌者的色彩要暗淡得多。珠鸡的雌雄二者则彼此无法区分。这种鸟的色彩平淡，但具有特殊斑点的羽衣最先由雄鸟获得，然后传递给雌

① 波伦(P. F. Poller)曾描述过这些物种，见《彩鹮》，1866年，275页，附彩色插图。

② 参阅《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，251页。

雄双方，并非是不可能的；因为它们的羽衣同雄红胸角雉所专有的那种美丽得多的斑点羽衣并无本质的区别。

从某些例子里应该看到从雄鸟向雌鸟的性状传递显然是在一个遥远的时期就已经完成了.此后雄鸟又经历了巨大变化，而它后来所获得的任何性状却没有传递给雌鸟。例如，黑色松鸡的雌者和幼者同红色松鸡的雌雄二者及其幼者相当密切类似；因此，我们可以推断说，黑色松鸡系起源于其雌雄色彩几乎和红色松鸡色彩一样的某一古老物种。由于后一物种的雌雄二者所具有的带斑在生殖季节比在其他任何时期更加显著，又由于雄鸟以其更强烈显著的红色和褐色而稍异于雌鸟[1]，因此我们可以断定，它的羽衣至少在某程度上受到了性选择的影响。倘情况果真如此，我们可以进一步推断说，雌黑色松鸡的差不多相同的羽衣是在以前的某个时期同样这么产生出来的。但是从那个时期以后，雄黑色松鸡便获得了其优美的黑色羽衣，具有分叉而向外卷曲的尾羽；但几乎没有任何这等性状传给了雌鸟，除了雌鸟的尾羽现了卷曲分叉的一点痕迹。

所以我们可以得出结论说，那些亲缘相近但彼此不同的物种的雌鸟，其羽衣之所以往往或多或少地有所不同，乃是由于雄鸟在远期或近期通过性选择所获得的性状不同程度地传递给了雌鸟。但值得特别注意的是，鲜艳色彩的传递要比其他色彩罕见得多。例如，红喉蓝胸的瑞典蓝雀的雄者具有艳蓝色的胸，其上有一个亚三角形的红斑；现在几乎相同形状的斑记已传给了雌鸟，但斑记的中央呈暗黄色而非红色，而且其周围的羽毛为杂色而非蓝色。鹑鸡科提供了许多相似的事例；因为诸如在鹧鸪、鹌鹑、珍珠鸡等物种中，其雄鸟的羽衣色彩已大量传给了雌鸟，这等物种没有一个是色彩鲜艳的。雉类是这方面的良好例证，雄雉一般都比雌雉鲜艳得多；但蓝马鸡和欢乐雉的雌雄二者彼此密切类似，而且它们的色彩都

① 麦克吉利夫雷，《英国鸟类志》，第1卷，172—174页。

是暗淡的。我们甚至可以相信：如果这两种雉的雄者羽衣的任何部分已变得色彩鲜艳，这等色彩大概不会传给雌鸟。这些事实强有力地支持了华莱士先生的观点，即，关于那些在孵卵期间暴露在大量危险之中的鸟类，其鲜明色彩从雄鸟向雌鸟的传递已经通过自然选择而受到了抑制。然而，我们一定不要忘记，上述有另一种解释还是可能的；那就是，当雄鸟在幼小和无经验的时期发生了变异而色彩鲜明，它们大概也会暴露在大量危险之中，而且一般会遭到毁灭；反之，年龄较老和富有警惕性的雄鸟，如果以同样的方式发生了变异，它们恐怕不仅能够生存下来，而且在同其他雄性对手的竞争中还会处于有利的地位。那么，在生命晚期发生的变异有专门向同一性别传递的倾向，所以在这种场合中，极端鲜明的色彩大概不会向雌鸟传递的。另一方面，一种较不显著的装饰物，诸如角雉和欢乐雉所具有的，大概不会有什么危险，如果这等装饰物是在幼年早期出现的，一般会传递给雌雄双方。

亲缘密切相近的物种，其雌鸟之间的某些差异，除了由于雄鸟向雌鸟部分传递其性状这一效果之外，还可归因于生活条件的直接或一定的作用[①] 对雄者来说，任何这类作用一般都会被通过性选择所获得的鲜艳色彩所掩盖；但对于雌者来说，就不是这样了。我们在家禽中所看到的羽衣每个无止境的变化当然都是某种一定原因所造成的结果；而在自然的和更一致的条件下，假定某种色彩决无害处，几乎肯定它迟早会占优势。属于同一物种的许多个体的自由杂交最终会使这样诱发起来的任何色彩变化在性状上成为一致。

没有人会怀疑许多鸟类雌雄二者的色彩适于保护之目的；也可能有些物种，仅是其雌鸟为了这一目的而发生了改变。正如上一章所阐明的，通过选择把一种传递形式转变为另一种形式，虽然是

① 关于这个问题，参阅《动物和植物在家养下的变异》，第23章。

一个困难的、也许是不可能的过程，但是，通过一开始就限于传递给雌鸟的那些变异的积累，使雌鸟的色彩——与雄鸟无关的色彩——适应于周围的物体，却没有一点困难。如果这等变异不是受到这样的性别限制，那么雄鸟的鲜明色彩就会退化或遭到破坏。许多物种是否只有雌鸟才有这样特殊的改变，在目前来说还很有疑问。但愿我能充分领会华莱士先生的见解；因为承认他的见解就可解决一些难题。任何变异对雌鸟的保护无所裨益者即被消除，而不单是由于没有被选择，或由于自由杂交而被取消，也不是由于传递给雄者的变异在任何方面都有害于它而被消除。这样，雌鸟的羽衣性状就会保持稳定。如果我们能承认许多鸟类的雌雄二者获得和保持其暗淡色彩是为了保护自己，那么这在解决难题上大概也是一种帮助——例如，岩鹨和普通鹪鹩的暗淡色彩就是如此，关于它们的暗淡色彩，我们还没有掌握性选择作用的充分证据，然而，当我们断定在我们看来是暗淡的色彩就会对某些物种的雌鸟没有魅力时，应该小心；我们应该记住普通家雀那样的情况，它们的雄鸟和雌鸟差异很大，但没有表现任何鲜明色调。在开阔地面上生活的许多鹑鸡类的鸟为了保护自己，已经获得现有色彩，至少是部分地获得这种色彩，对此大概已没有任何争论。我们知道它们借此被隐蔽得多么好；我们知道羽脚松鸡类当从冬羽换成夏羽时，虽则冬羽和夏羽都具有保护性的色彩，仍受猛禽类为害甚大。但是，我们能够相信黑色松鸡和红色松鸡的雌者在色彩以及斑记上的很轻微差异是用于保护的吗？鹧鸪现在的色彩是否比它们同鹌鹑的色彩相类似可以受到更好的保护吗？普通雉、日本雉和金雉的雌者之间的轻微差异是作为保护之用的吗？或者，它们的羽衣是否可以彼此交换而不受害吗？根据华莱士先生对东方某些鹑鸡类习性所做的观察，他认为这种轻微差异是有益的。至于我自己，我要说的只是：我不信。

以前解释雌鸟的色彩比较暗淡时，我倾向于把重点放在保护

作用上，那时我以为雌雄二者及其幼鸟的色彩可能原来都是同等鲜明的；但后来雌鸟由于在孵卵期间招致了危险以及幼鸟由于缺少经验，所以它们的色彩都变得暗淡以作为保护。但这一观点没有得到任何证据的支持，而且是不可能有的事；因为，如果我们这样来设想，那就是使雌鸟及其幼鸟在过去都暴露于危险之中，因此保护其变异了的后裔，此后便成为必要的了。通过逐渐的选择过程，我们还势必使雌鸟和幼鸟具有几乎完全相同的色彩和斑记而且势必使它们在相应的生命时期把这等性状传递给相应的性别。如果假定雌鸟和幼鸟在变异过程的每一阶段中共同都倾向于变得像雄鸟那样色彩鲜明，那么雌鸟不会变得色彩暗淡，倘幼鸟不参与这种变化，这也是一件多少奇怪的事；因为就我所能发现的来说，还没有一个事例表明雌鸟色彩暗淡而幼鸟色彩鲜明的物种。然而，某些啄木鸟的幼者提供了一个少见的例外，因为它们整个"头顶都呈红色"，而雄者到达成年时，它就减弱为一圈红线，而雌鸟到达成年时，它就完全消失①。

最后，关于我们眼前这一类事实最可能的解释似乎是：只有在雄鸟生命相当晚的时期在鲜明色彩或其他装饰性状方面发生的连续变异才被保存了下来；而这等变异的大部分或全部，由于它们出现的时期是在生命晚期，因而从一开始就只向成年的雄性后代传递。雌鸟或幼鸟所发生的任何鲜明色彩的变异，对它们都没有用处，因而不会被选择；若有危险的话，甚至会被消除掉。这样，雌鸟和幼鸟或保持不变，或通过传递从雄者那里接受某些连续变异而发生局部改变（这更是常见得多）。雌雄二者恐怕都受到了它们长期暴露于其中的生活条件的直接作用：但雌鸟将会更好地表现任何这等效果，因为除此之外别无他法可使它大大改变。这些变化以

① 奥杜邦，《鸟类志》，第1卷，193页。麦克吉利夫雷《英国鸟类志》，第3卷，85页。再参阅此前所举的有关印度啄木鸟的事例。

及所有其他变化由于许多个体之间的自由杂交将会保持一致。在某些场合中，特别是在地栖鸟类的场合中，雌鸟和幼鸟为了保护自己。可能发生与雄鸟无关的变异，结果是获得了同样的暗淡色彩的羽衣。

第二类 凡是成年雌鸟比成年雄鸟的色彩更显著的，则雌雄幼鸟的第一次羽衣同成年雄鸟的相似。——这一类事实同上一类恰恰相反，因为在这里雌鸟的色彩比雄鸟的更鲜明或更显著；而其幼鸟，就已知情况来看，是同成年雄鸟相似而不是同成年雌鸟相似。但是，雌雄之间的差异决不像第一类许多鸟类的雌雄差异那么大，而且这一类情况比较罕见。华莱士先生最先注意到雄鸟较不鲜明的色彩和它们承担孵卵义务之间存在着一种独特关系，他非常强调这一点[①]，认为这是一个决定性的考查，可以证明在孵卵期间暗淡色彩的获得乃是为了保护自己。还有一个不同的观点，在我看来，似乎更为合理。由于这些事实奇特而且为数不多，我将把我所能找到的全部事实简要列举如下。

三趾鹑属有一个组，形似鹌鹑，其雌鸟永远大于雄鸟（有一个澳大利亚的物种，差不多要大两倍），对鹑鸡类来说，这却是一种异常的情况。在该属大多数物种中，雌鸟的色彩比雄鸟的更显著而且更鲜明[②]，但在少数一些物种中雌雄二者则彼此相似。印度三趾鹑的雄者，其"喉部和颈部缺少黑色，其羽衣的整个色调比雌鸟的较淡而且较不鲜明"。雌鸟看来比雄鸟更爱吵闹，肯定比雄鸟更加好斗得多；因此，当地人常常养雌鸟而不是养雄鸟，使它们相斗。英国捕鸟人用雄鸟为媒鸟，置于陷网的近旁，以激起其他雄鸟的竞争心而捕获之，在印度则用三趾鹑的雌者作为媒鸟。当雌鸟被这样用作

---

① 《威斯敏斯特评论》，1867年7月。默里《游记》，1868年，83页。

② 关于澳大利亚的物种，参阅古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第2卷，178、186页，188页。在不列颠博物馆，可以看到澳大利亚的瓢鸟（*Pedionomus tonguatus*）标本也表现了相似的性差异。

媒鸟时，它们很快就开始“咕噜咕噜的高声鸣叫，这种叫声在远处还能听到，任何雌鸟听到叫声时就会迅速奔往该地，并开始同放在那里的笼中鸟相斗。”用此方法仅在一天之内就可以捕到 12—20 只鸟，全都是正在生殖期的雌鸟。当地人民断言，雌鸟在下完卵以后就集合成群并且留下雄鸟去孵卵。没有任何理由可以怀疑这个断言的真实性，它得到了斯温赫先生在中国所作的一些考察材料的支持①。布莱思先生相信其幼年的雌雄二者同成年雄鸟相似。

彩鹬(图 62)有三个物种，其雌鸟“不仅比雄鸟大，而且色彩华丽得多。”② 凡是雌雄二者气管构造有所不同的一切其他鸟类，都是雄鸟的气管比雌鸟的更为发达而且更为复杂；但在南方彩鹬来说，则雄鸟的气管构造简单，而雌鸟的气管要经过四道显著的盘旋才进入肺部③。因而这个物种的雌鸟已获得了一种显著的雄性特征。布莱思先生在检查了许多标本之后，查明孟加拉彩鹬的雌雄二者的气管也都不盘绕，这个物种同南方彩鹬如此相似，以致除了脚趾较短以外，简直没有其他区别。亲缘密切相近的类型的次级性征往往差异很大，关于这一法则，上述事实又是一个显著的例证；但这等差异同雌有关时，那便是一种很罕见的情况了。孟加拉彩鹬雌雄幼鸟的第一次羽衣据说同成熟雄鸟的相似④。也有理由相信其雄鸟承担了孵卵的义务，因为斯温赫先生⑤ 发现其雌鸟在夏末以前就集合成群，正如雌三趾鹑所发生的情况一样。

灰瓣蹼鹬和红领瓣蹼鹬的雌者都比雄者大，它们的夏羽也“装饰得更华丽。”但是，雌雄二者在色彩上的差异则决不是显著的，按

① 杰尔登，《印度鸟类》，第 3 卷，596 页。斯温赫先生的论述，见《彩鹮》，1865 年，542 页；1866 年，131，405 页。

② 杰尔登，《印度鸟类》，第 3 卷，677 页。

③ 古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第 2 卷，275 页。

④ 《印度的田野》(The Indian Field)，1858 年 9 月，3 页。

⑤ 《彩鹮》，1866 年，298 页。

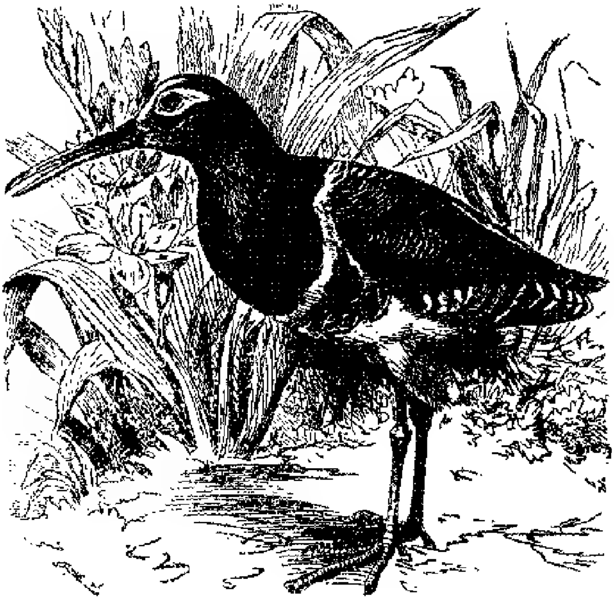


图 62　雌彩鹬(*Rhynchaea capensis*)(采自布雷姆)

照斯廷斯抽普教授的材料,灰瓣蹼鹬只有雄鸟担任孵卵的义务;雄鸟在生殖季节中的胸羽也表明了这一点。斑点鸻的雌者比雄者大,其体部底面具有红和黑的色彩,胸部新月形白斑以及眼睛上面的

条纹都更强烈显著。其雄鸟至少也参与孵卵;但雌鸟同样照看幼鸟①。我没有能够弄清楚这些物种的幼鸟同成年雄鸟的相似是否甚于同成年雌鸟的相似;因为做出这种比较或多或少是困难的,这是由于两次换羽的缘故。

现在来谈谈鸵鸟目:普通鹤鸵的雄鸟由于其体型较小,由于其附器和头部裸皮的颜色远不如雌鸟的那样鲜明,所以任何人都会把它当作雌鸟;并且巴特利特先生告诉我说,在动物园里肯定只有其雄鸟孵卵并照看幼鸟②。伍德先生说③,其雌鸟在生殖季节表现了一种最好斗的性情;这时其垂肉变大而且色彩更鲜艳。此外,斑鸸鹋的雌鸟比雄鸟大得多,它具有一个微小的顶结,除此之外,在羽衣其他方面则无法加以区别。然而,它"在愤怒或受到其他刺激时,似乎比雄鸟的力气更大,颈部和胸部的羽毛皆竖起,就像雄火鸡那样。它通常更勇敢而且更好斗。尤其在夜间它会发出一种空洞深沉的隆隆喉音,就像一面小锣的响声一般。其雄鸟的骨骼较纤细,而且较驯顺,愤怒时只发出一种压抑的嘶嘶声,或一种嘎嘎声。"它不仅承担了孵卵的整个义务,而且还要保护幼鸟不受它们母亲的危害;"因为母亲一看见其后代就变得非常激动,不顾父亲的抵抗,似乎要尽最大努力去毁灭幼鸟。数月之后,把双亲放在一起,还是不安全,激烈的争吵乃是不可避免的结果,在这场争吵中雌鸟一般都是胜利者。"④因此,关于鸸鹋,我们看到了一种完全颠

① 关于这若干记述,参阅古尔德先生《大不列颠鸟类》。牛顿教授告诉我说,他根据自己和其他人的观察,长期一直相信上述物种的雄鸟全部地或者大部地担负起孵卵的义务,而且"在危险中它们对幼鸟的献身精神远比雌鸟大得多。"正如他告诉我的,斑尾塍鹬(*Limosa lapponica*)和少数一些涉禽类的雌鸟都比雄鸟大,而且具有更强烈对比的色彩。

② 塞兰岛土人断言(华莱士,《马来群岛》,第2卷,150页),其雄鸟和雌鸟轮流孵卵,但巴特利特先生认为这大概是雌鸟来巢下卵之误。

③ 《学生》,1870年4月,124页。

④ 关于这种鸟在圈养条件下的习性,参阅贝内特先生的杰出文章,见《陆和水》,1868年5月,233页。

倒的情况，不但父母的和孵卵的本能颠倒了，而且雌雄二者的正常精神品质也颠倒了；其雌鸟凶猛，好争吵而且喧闹，而雄鸟则温和而且善良。非洲鸵鸟的情况远非如此，因为其雄鸟比雌鸟多少要大些，而且具有比较美观的羽饰，其色彩对比更为强烈，尽管如此，雄鸟还是担负着整个孵卵的义务①。

我将列举我所知道的其他少数事例来作说明，这些事例表明其雌鸟比雄鸟的色彩更为显著，虽然对其孵卵方式毫无所知。关于福克兰群岛上的一种食腐肉的鸢，我在解剖时非常惊奇地发现，那些全身色彩强烈显著的个体——蜡膜和腿部呈橙色，都是成年的雌鸟；而那些羽衣色彩比较暗淡的、腿部呈灰色的个体，都是雄鸟或幼鸟。澳大利亚有一种红喉短嘴旋木鸟，其雌鸟异于雄鸟之处在于"喉部有美丽发亮的赤褐色斑记，而雄鸟这一部分的色彩则十分平淡。"最后，澳大利亚有一种欧夜鹰，"其雌鸟体型总是大于雄鸟，色彩之鲜艳也超过雄鸟，另一方面，雄鸟初级飞羽上的两个白斑点比雌鸟的更为显著。"②

于是我们看到，雌鸟的色彩比雄鸟的更显著，幼鸟的未成熟羽

---

① 斯克莱特先生关于鸵鸟孵卵问题的论述，见《动物学会学报》，1863年6月9日，游鸵(*Rhea darwinii*)的情况也是如此；马斯特斯(Musters)船长说(《和巴塔哥尼亚的印第安人相处的日子》，1871年，128页)，其雄鸟比雌鸟更大、更强壮而且动作更快，其色彩稍暗淡；但它担负孵卵和照看幼鸟的全部责任，正如游鸵属普通物种的雄鸟那样。

② 关于食腐肉的鸢，见《贝格尔舰航海中的动物学：鸟类》，1841年，16页。关于旋木鸟和欧夜鹰(*Eurostopodus*)，见古尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，602和97页。新西兰的麻鸭(*Tadorna Variegata*)提供了一个完全相似的情况；其雌鸟的头部呈纯白色，而背部则比雄鸟的颜色更红，雄鸟的头部为一种鲜艳的暗青铜色，其背部复以美丽的细纹鼠色羽衣，因此这两方面加起来它就会被认为是两性中更漂亮者。它比雌鸟大，更好斗，而且不孵卵，因而从所有这些方面看，这个物种应归入我们第一类；但斯克莱特先生(《动物学会学报》1866年，150页)非常惊奇地看到幼年雌雄二者在孵出后三个月左右的时候，它们暗色的头部和颈部与成年雄鸟相似，而不与成年雌鸟相似，因此在这种场合中似乎是雌鸟发生了改变，而雄鸟和幼鸟则保持其羽衣的以往状态。

衣同成年雄鸟的羽衣相似，而不是像前章所述的那样与成年雌鸟的羽衣相似，这些事例虽见于各个“目”，但为数不多。雌雄二者之间的差异量比前一类常常发生的差异量小到无法相比的程度；所以差异的原因，不论它可能是什么，在这里对雌鸟发生的作用，不及对第一类雄鸟发生的作用那样有力或那样持久。华莱士先生认为雄鸟的色彩在孵卵期间为了保护自己而变得较不显著；但是几乎所有上述事例都表明雌雄二者之间的差异并不够大。在一些这类场合中，雌鸟较为鲜明的色彩几乎都限于体部底面，而雄鸟体部底面的色彩如果鲜明，它们在孵卵时大概也不会暴露在危险之中。还应该记住，雄鸟不仅在色彩显著程度上稍逊于雌鸟，而且比雌鸟小而弱。此外，它们不仅获得了孵卵的母性本能，而且还不如雌鸟那样好斗和大声喧叫，有一个例子表明它们的发音器官也比较简单。这样，雌雄二者之间的本能、习性、性情、色彩、大小以及某些构造之点便完成了几乎完全的倒置。

现在如果我们可以假定本类的雄鸟已经失去了它们这一性通常具有的一些热情，因而不再急切地寻求雌鸟；或者，如果我们可以假定其雌鸟的数量比雄鸟的多得多——在印度三趾鹑的场合中据说其雌鸟“远比雄鸟更为常见”①——那么这导致雌鸟追求雄鸟而不是被雄鸟所追求，就不见得不可能了。我们在雌孔雀、野火鸡以及某些种类的松鸡中所看到的情况就是这样。如果把大多数雌鸟的习性作为指针，则三趾鹑和鹬鹋的雌鸟的较大体型和体力以及异常的好斗性，都必定意味着它们为了占有雄鸟而尽力把竞争的雌性对手赶跑；从这个观点来看，全部事实就变得一清二楚了；因为，雌鸟由于具有鲜明色彩、其他装饰物以及发音能力，所以最能吸引雄鸟，而雄鸟大概最容易受这等雌鸟的媚惑和刺激。于是，性选择就发生作用，不断地给雌鸟增添魅力；而雄鸟和幼鸟则

① 杰尔登，《印度鸟类》，第3卷，598页。

完全不变，或改变甚少。

第三类 凡成年雄鸟和成年雌鸟相似的，则雌雄幼鸟就具有自己特殊的第一次羽衣。在这一类中，雌雄成鸟彼此相似并异于幼鸟。许多种类的鸟所发生的情况就是如此。雄欧鸲和雌欧鸲几乎无法区别，但其幼鸟则大有差异，它具有暗橄榄色和褐色的斑点羽衣。华丽的猩红色鹮鸟的雄者和雌者彼此相似，而其幼鸟却呈褐色；至于这种猩红色虽为雌雄所共有，但显然是一种性的特征，因为在圈养的条件下，这种性征在任何一性都不会充分发育；当鲜艳的雄鸟被圈养时，这种色彩往往就会消失。苍鹭的幼鸟和成鸟彼此差异很大；成鸟的夏羽虽为雌雄所共有，却清楚地具有婚羽的特征。幼天鹅呈鼠色，而成长的天鹅却为纯白色。幼鸟和成鸟之间的这等差异，正如上述两类情况那样，显然在于幼鸟保持了既往的古老状态的羽衣，而成鸟则获得了新的羽衣。如果成鸟具有鲜明的色彩，我们根据刚才对猩红色鹮鸟和许多种苍鹭所做的记述，以及根据第一类诸物种所做的类推，可以得出结论说，这等色彩是由接近成熟的雄鸟通过性选择而获得的；但不同于上述两类情况的是，这种性状的传递虽然限于相同的年龄，却不限于相同的性别。结果，雌雄二者在成熟时彼此相似而异于幼鸟。

第四类 凡成年雄鸟同成年雌鸟相似的，则雌雄幼鸟的第一次羽衣同成鸟的羽衣相似。——在这一类中，幼年的和成年的雌雄二者，不论其色彩鲜艳或暗淡，都彼此相似。这一类情况比上一类情况更为常见。在英国可举之例有：鳉、某些啄木鸟、松鸦、喜鹊、乌鸦、以及许多色彩暗淡的小型鸟类，如篱莺或普通鹪鹩。但幼鸟和成鸟之间在羽衣方面的相似决不完全，而渐次变为不相似。例如，鱼狗科某些成员的幼鸟不仅在色彩上不及成鸟鲜艳，而且其体

部底面的许多羽毛具有褐色的边①，这大概是其已往羽衣状态的痕迹。在这种鸟的同一类群中，甚至在同一属中，例如在锦鹉的一个澳大利亚的属中，某些物种的幼鸟同其彼此相似的双亲密切相似，而其他物种的幼鸟则同其彼此相似的双亲相当不同②。普通樫鸟的雌雄二者及其幼鸟都彼此相似；但加拿大噪鸦的幼者同其双亲的差异如此之大，以致过去曾把它们描述为不同的物种③。

在继续往下讨论之前，我愿指出，在这一类以及下述两类的场合中，事实是如此复杂，而且结论是如此可疑，因而对这个问题不感特别兴趣的任何人还是略而不谈为好。

这一类的许多种鸟都是以其鲜艳的或显著的色彩作为特征，这等色彩很少有或者决不会有保护作用；因此大概是雄鸟通过性选择获得了这等色彩，而后传递给了雌鸟和幼鸟。然而，有可能雄鸟选择更有魅力的雌鸟，如果这些雄鸟将其性状传递给雌雄双方的后代，则其结果同雌鸟选择更有魅力的雄鸟所产生的结果是一样的。但有证据可以证明，在雌雄二者一般彼此相似的任何鸟的类群中，这种偶然情况即便曾经有过，也是很少发生的；因为这等连续变异未能传递给雌雄二者的甚至只是少数，则雌鸟也会在美观方面稍微超过雄鸟。在自然状态下发生的情况恰好相反；因为，在雌雄二者一般彼此相似的差不多每一个大类群中，某些少数物种的雄鸟色彩的鲜明程度略胜于雌鸟。也有可能雌鸟会选择比较美丽的雄鸟，而这等雄者反过来也会选择比较漂亮的雌鸟；但这种双重选择过程是否可能发生，还是有疑问的，这是因为其中一性的热情要大于另一性，再者，这种双重选择过程是否比只有一方的选择

① 杰尔登，《印度鸟类》，第1卷，222、228页。古尔德，《澳大利亚鸟类手册》，第1卷，124，130页。

② 古尔德，同上著作，第2卷，37、46、56页。

③ 奥杜邦，《鸟类志》，第2卷，55页。

更为有效，也是有疑问的。因此最合理的观点是，按照动物界的一般规律，就所涉及装饰性状而言，性选择曾经对雄鸟发生过作用，而且这些雄鸟把它们渐次获得的色彩相等地或是几乎相等地传给了后代的两性。雄鸟最初发生的连续变异究竟在其接近成熟之后，抑在其十分幼小的时候，是一个更大的疑问，在任何上述一种场合中，只要雄鸟为了占有雌鸟势必同其对手进行竞争时性选择就一定会对雄鸟发生作用；在那两种场合中这样获得的性状就会传递给雌雄双方，而且这种传递系在所有年龄中进行的。但是，这等性状如果是由成年雄鸟获得的，那么就只传递给成鸟，并且在此后的某个时期再传递给幼鸟。因为已经知道，在相应年龄遗传的规律一旦失效，其后代继承那些性状的时期，往往要早于双亲最初出现那些性状的时期[①]。在处于自然状况下的鸟类中可以明显地观察到这等情况。例如，布莱思先生见过红色伯劳和冰雪群岛鹏的标本，它们在幼小的时候便十分反常地呈现了其双亲的成年羽衣[②]。再者，普通天鹅的幼者要到一岁半或两岁才脱掉其暗色羽毛而变成白色的；但福勒尔博士描述过三只精力旺盛的幼天鹅，它们这一窝一共有四只，而三只一生下来就是纯白色的。这些幼鸟并非白化体，因为它们的喙和腿的颜色和成鸟的同一部分接近相似[③]。

本类雌雄二者以及幼鸟可能按照上述三种方式而彼此相似，用麻雀属的奇妙事例来说明这三种方式，这是值得一试的。[④]家雀的雄者同其雌者以及幼者差异很大。其幼者和雌者彼此相似，并在

① 《动物和植物在家养下的变异》，第 2 卷，79 页。

② 查里沃思主编的《博物学杂志》，第 1 卷，1837 年，305、306 页。

③ 《科普协会简报》(*Bulletin de La Soc. Vaudoise des Sc. Nat.*)，第 10 卷，1869 年，132 页，波兰天鹅，即雅列尔命名的变天鹅(*Cygnus immutabilis*)，其幼鸟永呈白色；但是，正如斯克莱特先生告诉我的，据认为，这个物种不过是普通天鹅(*Cygnus odor*)的一个变种而已。

④ 我感谢布莱思先生提供有关这个属的材料。巴勒斯坦麻雀乃是一个石雀(*Petronia*)的亚属。

很大程度上同巴勒斯坦麻雀以及亲缘关系密切相近的物种的雌雄二者和幼者相似。因此我们可以假定家雀的雌者和幼者大致向我们表明了该属祖先的羽衣状况。且说，山麻雀的雌雄二者和幼者都同家雀的雄者密切相似，所以说，它们全都按照同样的方式发生变异，而且全都背离了它们早期祖先的典型色彩。这可能是由山麻雀的一个早期雄性祖先来实现的，它发生变异，第一可能是在接近成熟的时期，第二可能在它十分幼小的时期，而且无论在上述哪一种场合中，都把改变了的羽衣传递给了雌鸟和幼鸟；或者第三，它也许在成年发生变异，并把其羽衣传递给了成年的雌雄二者，并且，由于在相应年龄遗传的法则失效，在以后某个时期传递给了幼鸟。

这三种方式在这一类情况中何者属于主导地位，仍是无法确定的。最可能的是，雄鸟在幼年发生变异，并把它的变异传递给了其后代的雌雄二者。我可以在此作点补充，我曾查阅各种著作，试图确定鸟类的变异时期对于性状传递给一性或传递给两性究竟可以决定到什么程度，但很少成功。常常提到的那两条规律（即，在生命晚期发生的变异只传递给相同性别的一方，而在生命早期发生的变异则传递给雌雄双方），明显地适用于第一类①、第二类以及第四类的情况；但对第三类，往往还对第五类②，而且对小小的第六类就不适用了。然而，就我所能判断的来说，它们可以应用于相当多数的物种；我们千万不要忘记马歇尔博士对鸟类头部突起所作的惊人概括。这两条规律是否一般都能适用，我们根据第八章所

① 例如，夏鷟（*Tanagra aestiva*）和蓝燕雀（*Fringilla cyanea*）的雄鸟的漂亮羽衣完全长好，需时三年，而燕雀（*Fringilla aris*）的雄鸟需时四年（见奥杜邦的《鸟类志》，第 1 卷，233、280、378 页），斑凫（harlequin duck）需时二年（同上著作，第 3 卷，614 页）。我听詹纳 · 韦尔先生说，雄金雉在孵出三个月左右就可同雌金雉区别开来，但其华丽的完善羽衣要到来年九月底才会出现。

② 这样，坦塔罗斯彩鹮（*Ibis tantalus*）和美洲鹤（*Grus americanus*）需时四年，红鹳（*Flamingo*）需时数年，而游鹭（*Andea Ludovicana*）需时两年，才获得其完善的羽衣。参阅奥杜邦的上述著作，第 1 卷，221 页；第 3 卷，133、139、211 页。

举出的事实可以断言，变异的时期在决定传递形式方面是一个重要的因素。

关于鸟类，我们应该用什么标准去判断变异时期的迟或早，是根据同生命期限有关的年龄，还是根据生殖能力，要不根据物种所通过的换羽次数，都是难以决定的。鸟类的换羽，即使在同一科里，有时没有任何可提出的原因也彼此大不相同。有一些鸟类那么早就换羽，以致在其初级翼羽充分成长之前其体部的羽毛就几乎全脱光了；我们不能相信这是事物的原始状态。如果换羽时期提前了，则其成熟羽衣颜色最先发育的年龄会使我们错误地认为它比实际的发育年龄为早。有些鸟类玩赏家所用的鉴定性别的方法可以说明这一点，他们从尚未离巢的红腹灰雀的胸部，从幼小金雉的头部或颈部，拔掉少许羽毛，以确定它们的性别；因为，若是雄鸟，则在拔掉的那些羽毛原处立即会长出有色的羽毛。① 我们只知道少数鸟类的生命期限，所以我们几乎无法用这个标准来作出判断。至于获得生殖能力的时期，有一个值得注意的事实，即，各种鸟类在保持其未成熟的羽衣时就偶尔进行②。

交尾，这似乎同以下信念相反，即，性选择在使雄者获得装饰性的色彩、羽饰等并通过同等传递把这些性状传递给许多物种的

① 布莱思先生的论述，见查理沃思主编的《博物学杂志》，第 1 卷，1837 年，300 页。有关金雉的材料是巴特利特先生告诉我的。

② 我曾注意到奥托邦的《鸟类志》中的下述事例。美国的红尾鹟（*Muscapica ruticilla*，第 1 卷，203 页），坦塔罗斯彩鹳需时四年才达到完全成熟，但有时在孵出后第二年就繁育（第 3 卷，133 页）。美洲鹤需要同样长的时间，但在获得其完善羽衣前就繁育（第 3 卷，211 页）。青鹭（*Ardea caerulea*）的成鸟呈蓝色，幼鸟则呈白色，可以看到白色的，杂色的以及成熟的蓝色鸟全都在一块繁育（第 4 卷，58 页）；但布莱思先生告诉我说，某些苍鹭显然是二态的，因为可以看到同龄的白色和有色的个体。斑凫（*Anas histrionica* Linn.）需时三年才能获得其完善羽衣，虽然许多凫类在孵出后第二年就繁育（第 3 卷，614 页）。白头隼（*Falco Leucocephalus*，第 3 卷，210 页）据知同样在未成熟时就繁育。黄鹂属的一些物种（根据布莱思先生和斯温赫先生的材料，见《彩鹳》，1863 年 7 月，68 页）同样在获得其完善羽衣前就繁育。

雌者等方面起了重要的作用。如果年龄较小和装饰较差的雄者能像年龄较大和外观较美的雄者那样成功地赢得雌者和繁殖其种类，那么这种相反的情况就是有确实根据的了。可是我们没有理由假定情况确系如此。奥杜邦曾把一种彩鹮的未成熟雄者进行繁殖当作一种稀罕的事来说，斯温赫先生也提到过黄鹂属的未成熟雄者发生过这种情况。①如果任何物种的幼鸟在羽衣尚未成熟的状况下能够比成鸟更成功地赢得配偶，则成年的羽衣大概很快就会消失，因为那些最长久保持未成熟羽衣雄鸟大概居于优势，这样，物种的性状最终要发生变异。② 反之，如果幼鸟在获得雌鸟方面从未成功，那么早期生殖的习性恐怕迟早要归于消灭因为这一定要消耗体力，且无此必要。

某些鸟类的羽衣在充分成熟后的许多年里还不断增添其美丽；孔雀和一些极乐鸟的尾羽，以及几种苍鹭的羽冠和羽饰就是如此。③ 但这种羽毛的不断发育究竟是对连续的有利变异的选择的结果(尽管这个观点对极乐鸟来说是最合理的)还是单纯的不断生长的结果，尚有疑问。大多数鱼类在它们健康和食物丰富的期间，其大小还在不断增长；鸟类的羽饰可能也受一种与此多少相似的法则所支配。

第五类　凡成年的雌雄二者具有不同冬羽和夏羽的，无论

---

① 见上注

② 属于完全不同纲的其他动物，无论是惯常，还是偶然，都能在完全获得其成年性状之前就可以繁育。鲑鱼的幼年雄者就是如此。有几种两栖动物，据知尚保持其幼体构造时就进行繁育。弗里茨·米勒指出(《支持达尔文的事实和论证》，英译本，1869年，79页)有几种异脚类甲壳动物的雄者在幼小时即达到性成熟了，我推论这是成熟前就进行繁育的一个例子，因为那时它们还没有获得其完全发育的雄性羽衣。所有这类事实都是非常有趣的好像凭一种手段就可使物种实现性状的巨大改变。

③ 杰尔登，《印度鸟类》，第3卷，507页，关于孔雀。马歇尔博士认为极乐鸟的较老和较鲜艳的雄鸟比较年幼的雄鸟有更大优越性，见《荷兰文献》，第6卷，1871年。——关于鹭属，奥杜邦的上述著作，第3卷，139页。

其雄鸟是否异于雌鸟，其幼鸟的冬羽同成年雌雄二者的冬羽相似，或同它们的夏羽相似，但这种情况要罕见得多；或者幼鸟仅同雌鸟相似。或者，幼鸟可能具有一种中间的性状；还有幼鸟同雄鸟的冬羽和夏羽都迥然不同。——这一类情况异常复杂；这也不奇怪，因为它们决定于遗传，而这种遗传不同程度地受到三个方面即性别、年龄以及季节性的限制。在某些场合中同一物种的一些个体至少要经过五种不同的羽衣状态。关于雄鸟只在夏季或更为罕见地在冬夏两季异于雌鸟的物种①，其幼鸟一般同雌鸟相似，——所谓北美的金翅雀、显然还有鲜艳的澳洲莫鲁里鸟都是如此。② 关于雌雄二者在夏季和冬季都彼此相像的物种，其幼鸟同成鸟的相似在于：第一，它们的冬羽；第二，它们的夏羽，但这种情况要罕见得多，第三，介于以上两种状态之间；第四，幼鸟可能在所有季节里都和成鸟迥然不同。以这四种情况的第一种印度白鹭为例，其幼鸟和成年的雌雄二者在冬季均呈白色，到夏季，成鸟就变为浅金黄色。关于印度的懒钳嘴鸭，其情况与此相似，但其色彩正好相反：因为在冬季其幼鸟和成年的雌雄二者均呈灰色和黑色，到夏季其成鸟就变为白色③。作为第二种情况的一个例子，如剃刀喙海雀，其幼鸟的早期羽衣在色彩上同成鸟的夏季羽衣相像；而北美白冠燕雀的幼鸟，一会飞时，头上就有优美的白色条纹，到冬季幼鸟和成鸟的这等性状都消失了④。关于第三种情况，即幼鸟具有介于成年的夏羽

---

① 关于图例见麦克吉利夫雷的《不列颠鸟类志》一书，关于鹬属见 229、271 页；关于流苏鹬，见 172 页；关于剑鸻（*Charadrius hiaticula*），见 118 页；关于雨鸻（*Charadrius pluvialis*），见 94 页。

② 有关北美洲金翅雀、暗色燕雀见奥杜邦的《鸟类志》，第 1 卷，172 页。关于莫鲁里鸟，见高尔德的《澳大利亚鸟类手册》，第 1 卷，318 页。

③ 我感谢布莱思先生提供的有关印度白鹭的材料；再参阅杰尔登的《印度鸟类》，第 3 卷，749 页。关于懒钳嘴鸭，见布莱思的论述，《彩鹳》，1867 年，173 页。

④ 关于海雀，见麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 5 卷，347 页。关于白冠燕雀见奥杜邦的上述著作，第 2 卷，89 页。我以后还会提到某些苍鹭和白鹭的幼鸟呈白色的问题。

和冬羽之间中间性状，雅列尔[①] 坚决认为许多涉禽类都发生过这种情况。最后，关于幼鸟和雌雄二者的成年夏羽和成年冬羽都迥然不同的情况，在北美和印度的一些苍鹭以及白鹭中均有发生，——只有它们的幼鸟呈白色。

关于这些复杂的情况我仅稍作陈述。凡幼鸟和雌鸟的夏羽相似或同成年雌雄二者的冬羽相似的，其情况同第一类和第二类情况的不同之点仅在于雄鸟在生殖季节最先获得的并限于在相应季节传递的那些性状。凡成鸟具有不同的夏羽和冬羽，而且其幼鸟异于雌雄二者的，其情况就比较费解了。我们可以承认幼鸟大概保持了一种古老的羽衣状态；我们根据性选择能够说明成鸟的夏羽或婚羽，可是我们如何说明其不同的冬羽呢?如果我们能承认这种羽衣在所有场合中都是作为保护之用的，那么它的获得就是一件简单的事了；但似乎没有恰当的理由来承认这一点。或可提出这样的意见：冬季和夏季迥然不同的生活条件对这种羽衣发生了直接作用；这也许有一些影响，但我没有多大信心来承认我们所看到的这两种羽衣之间的如此重大差异是这样引起的。比较合理的一种解释是，通过夏羽某些性状的传递古老的羽衣样式发生了部分变异，而这种古老的羽衣样式在冬季还为成鸟所保持。最后，属于这一类的所有情况，显著都是由成年雄鸟获得的性状所支配的，这些性状的传递受到了年龄、季节和性别的各种不同限制；但要试图进一步探明这些复杂的关系也许是不值得。

第六类　凡幼鸟的第一次羽衣按不同性别而彼此相异的，则幼小的雄鸟同成年的雄鸟多少密切相似；而幼小的雌鸟同成年的雌鸟多少密切相似。属于这一类的情况，虽出现于各种类群，但为数不多；幼鸟一开始就应该或多或少地和同一性别的成鸟相似，而且逐渐变得越来越相似，好像是最自然不过的事了。黑冠莺的成

① 参阅《英国鸟类志》，第1卷，1839年，159页。

年雄鸟的头部为黑色，而雌鸟的头部则呈红褐色；布莱思先生告诉我说，其雌雄幼鸟甚至在还没有离巢的时候也能根据这等性状加以区分。在鸫这一科中，有异常多的相似事例已被注意到了；例如雄乌鸫的雏鸟就能同雌乌鸫的雏鸟相区别。饶舌鸫的雌雄二者彼此差异很小，可是其雄鸟在年龄很小时由于呈现更纯的白色而能容易地同雌鸟区分开来①。树鸫和岩鸫的雄鸟有很多羽毛呈现一种优美的蓝色，其雌鸟则呈褐色；这两个物种的雄性雏鸟其主要的翼羽和尾羽都有蓝色的边，而雌鸟的则具有褐色的边②。幼小乌鸫的翼羽表现了成熟的性状，而且在其他羽毛之后变黑；反之，刚才提到的那两个物种的翼羽则在其他羽毛之前变蓝。关于这一类情况，最合理的观点是，和第一类情况有所不同，即，雄鸟把这种色彩传递给雄性后代的年龄早于它们最初获得这种色彩的年龄；因为，如果雄鸟是在十分幼小时发生变异的，那么其性状大概就会传递给雌雄二者③。

有一种蜂鸟，叫亮羽蜂鸟，其雄鸟具有黑和绿的灿烂色彩，而且有两条大小延长了的尾羽；雌鸟只有一条平常的尾羽而且色彩也不显著；于是其幼小雄鸟不是按照普通的规律同成年雌鸟相似，而是以一开始就呈现这种性别所固有的那种色彩而且其尾羽也迅速变长了。我感谢古尔德先生提供这个材料，他还向我提供下述更惊人的而且迄今尚未发表的事例。有两种属于 *Eustephanus* 的蜂

① 奥杜邦，《鸟类志》第1卷，113页。

② 赖特(C. A. Wright)先生的著述，见《彩鹮》，第6卷，1864年，65页。杰尔登，《印度鸟类》，第1卷，515页。再参阅布莱思关于乌鸫的论述，见查理沃思主编的《博物学杂志》，第6卷，1837年，113页。

③ 尚有数例补充如下：红雀(*Tanagra rubra*)的年幼雄鸟同年幼雌鸟有区别(奥杜邦，《鸟类志》，第4卷，392页)，一种印度的蓝鸸(*Dendrophila frontalis*)，其雏鸟也同样地雌雄有别(杰尔登，《印度鸟类》，第1卷，389页)。布莱思先生也告诉我说，黑喉石鹏(*Saxicola rubicola*)在很早的年龄其雌雄二者就可彼此区别。沙尔文先生举出(《动物学会会报》，1870年，206页)一个例子表明一种蜂鸟同下面所说的 *Eustephanus* 相似。

鸟均具美丽的色彩，栖居于胡安费尔南德斯的小岛上，而且永远被划为不同的物种。但最近已经证实，其中呈鲜艳栗褐色、头部为金红色的一种乃是雄鸟，而呈绿色和白色斑驳的优美色彩、头部为金绿色的另一种则是雌鸟。于是，其幼鸟在最初就同相应性别的成鸟或多或少地相似了，以后这种相似逐渐变得越来越完全。

如果我们像以前那样地把幼鸟的羽衣作为我们的指针，那么雌雄二者似乎彼此无关地各自变得美丽；而不是某一性把其美丽部分地传递给了另一性。雄鸟显然是通过性选择获得了鲜明的色彩，其方式正如第一类场合中的孔雀和雉那样；而雌鸟则是按照第二类场合中彩鹬属或三趾鹑属的雌鸟那样方式获得其显著色彩的。但是要理解同一物种雌雄二者为何能够同时实现这一过程那就困难得多了。沙尔文先生说，正如我们在第八章所见到的，关于某些蜂鸟，其雄鸟在数量上大大超过了雌鸟，而栖居在同一地方的其他物种则是雌鸟的数量大大超过了雄鸟。于是，如果我们可以假定在以前某个长时期里胡安·费尔南德斯物种的雄鸟在数量上大大超过了雌鸟，而在另一个长时期里又是雌鸟的数量远远超过了雄鸟，那么我们就能理解如何通过对任何一性的色彩鲜明的诸个体的选择在某一个时期使雄鸟、又在另一个时期使雌鸟增添了美丽；雌雄二者在比平常相当早的年龄把它们的性状传递给了幼鸟。这种解释正确与否，我不想妄加评说；但这个事例极其值得注意，以致不能把它忽略过去。

我们现在已于所有这六大类中看到幼鸟羽衣和雌雄两性的或某一性别的成鸟羽衣之间所存在的密切关系。这些关系可根据下述原理得到相当确切的理解，即，某一性别——在大多数场合中这是雄性——通过变异和性选择最先获得了鲜明色彩或其他装饰物，然后按照那些公认的遗传规律以不同方式把它们传递下去。为什么有时即使是属于同一类群的物种，它们的变异也会发生于生

命的不同时期,我们还不清楚,但就传递的形式而言,一个重要的决定性原因似乎是变异最先出现时的年龄。

根据在相应年龄遗传的原理,并且根据雄者早期发生的任何颜色变异都不会受到选择——反而由于有危险而常被淘汰——尽管在生殖期前后发生的相似变异都被保存了下来,于是,幼鸟的羽衣往往会保持不变或变得很少。这样我们就可略窥现存物种的祖先是什么颜色了。在这六类情况中的五类有大量物种其某一性别或雌雄两性的成鸟是色彩鲜明的,至少在生殖季节期间是如此,而同时幼鸟的色彩总不如成鸟的鲜明,或是色彩十分暗淡;因为,就我所能发现的来说,没有一个事例表明色彩暗淡的物种其幼鸟呈鲜明色彩的,或色彩鲜明的物种其幼鸟比其父母更鲜艳。然而,在第四类中,幼鸟和成鸟彼此相似,有许多物种(尽管决非全部)其幼鸟呈鲜明的色彩,既然古老类群是由这些物种组成的,所以我们可以推论其早期祖先也同样是鲜明的。除了这一例外,如果我们从全世界鸟类去看,自从它们的未成熟羽衣给我们做了部分记录的那个时期以来,它们的美似乎大大增加了。

同保护有关的羽衣色彩

已经看到我不能追随华莱士先生去相信,暗淡的色彩,当限于雌鸟所专有时,在大多数场合中乃是特别为了保护而被获得的。然而,毫无疑问,如上所述,许多鸟类雌雄二者的色彩都发生了变异,以便逃避其敌害的注意;或者在某些事例中,乃是为了接近其捕食对象时不会被发觉,正如猫头鹰具有柔软的羽毛乃是为了在飞行时不闻其声。华莱士先生说,① "只有在热带不落叶的丛林里我们才会找得到其主要色彩是绿色的大群鸟类。"凡曾试过的,每个人

① 见《威斯敏斯特评论》,1867 年 7 月,第 5 页。

都会承认要把鹦鹉从一株长满绿叶的树识别出来有多么困难。尽管如此，我们还必需记住许多鹦鹉都装饰了深红的、蓝的、和橙黄的色彩，这些色彩几乎是没有保护作用的。啄木鸟显然是树栖的，但除了绿色物种以外，还有许多黑的以及黑白相间的种类——所有这些物种都明显地暴露在几乎相同的危险之中。因此，大概是出没于树间的鸟类通过性选择获得了强烈显著的色彩，但由于额外的保护利益，故绿色的获得往往多于任何其他颜色。

关于在地面上生活的鸟类，每个人都承认它们的色彩是模拟其周围地面的。要看见一只伏在地上的小鸦、沙锥、丘鹬、某些鸻类、云雀和欧夜鹰是多么困难。特里斯拙姆先生说，所有撒哈拉的居住者都是以其“淡黄色或沙色”来保护自己[①]。当我想起南美的沙漠鸟类以及大不列颠的大多数地栖鸟类，在我看来其雌雄色彩一般差不多是一样的。因此，我向特里斯拙姆先生请教有关撒哈拉沙漠鸟类的情况，他好心地向我提供了下述材料。有15个属的26个物种，都明显具有保护色彩的羽衣；这种保护色越发惊人的是，大多数这等鸟类的色彩都异于其同种的鸟类。在这26个物种中有13个其雌雄二者的色彩是一样的；但这些物种都是属于通常受这一规律所支配的属，因此，关于沙漠鸟类雌雄二者具有一样的保护色，这些物种并没有向我们说明什么。至于其他13个物种，其中有三个是属于其雌雄二者平常有差异的属，而在这里它们都彼此相似。其余的10个物种，其雄鸟异于雌鸟，但这种差异主要局限于羽衣的底面，当这等鸟伏于地面时就把这一部分掩盖住了；其雌雄二者的头部和背部也具有同样的沙色。因此，这10个物种的雌雄二者的上表面为了保护之故在自然选择的作用下而彼此相像；同时为了装饰之故只有雄鸟的体部底面通过性选择而多样化了。在这

① 《彩鹮》，1859年，第1卷，429页，及以下诸页。然而，罗尔夫斯(Rohlfs)博士在一封信中对我说，根据他在撒哈拉沙漠的经验，这个说法未免过火。

里，既然雌雄二者都相等地得到了妥当的保护，我们可以清楚看到自然选择并没有阻止雌鸟继承其父方的色彩；因此我们必须求助于受性别限制的传递法则了。

在世界所有部分的许多软嘴鸟类，特别是那些常常出没于芦苇或苔草中的鸟类，其雌雄二者均呈暗淡的色彩。毫无疑问，如果其色彩是鲜明的，惹起其敌害的注目就要容易得多；可是它们的暗淡色彩是否特别为了保护自己而获得的，就我所能判断的来说，似乎还有相当疑问。然而我们必需记住，雄鸟尽管是色彩暗淡的，但往往还同雌鸟有很大差异（像普通麻雀那样），这就使我们相信为了吸引雌鸟这等色彩是通过性选择而被获得的。许多软嘴鸟类都是鸣禽；不应忘记前章的那一段讨论，它表明装饰着鲜明色彩的鸣禽是罕见的。如此看来，作为一般的规律，选择配偶的好像是雌鸟，她们或取雄鸟甜蜜的鸣声或取雄鸟漂亮的色彩，而并非二者兼取。有一些物种的色彩显然是为了保护自己，诸如姬鹬、丘鹬以及欧夜鹰即是，但它们的斑纹和色调按照我们的审美标准来看，照样是极其优美的。在这等场合中我们可以做出结论说，自然选择和性选择为了保护和装饰而共同发挥作用。要说有这样一种鸟，它并不具有某种用来诱惑异性的魅力，实属可疑。如果雌雄色彩是如此暗淡，以致不应轻率地去假定性选择可以发生作用，而且如果不能提出直接的证据来表明这等色彩系作为保护之用，那么最好还是承认我们对其原因一无所知，或者，几乎是一回事，把其结果归因于生活条件的直接作用。

许多鸟类雌雄二者的色彩虽不鲜艳，却是触目的，诸如数目众多的黑的、白的或黑白相间的物种即是；这些色彩大概都是性选择的结果。普通翅鸫、雷鸟、黑色公松鸡、黑凫、甚至还有一种黑极乐鸟，只有其雄鸟是黑色的，而雌鸟则呈褐色或杂色；这种黑色乃是一种性选择的性状，几乎是无可怀疑的。所以像乌鸦、某些美冠鹦鹉、鹳和天鹅，以及许多种海鸟那样的一些鸟类，其雌雄二者的全

局部的黑色同样是性选择的结果，并伴以向雌雄双方的同等传递，在某种程度上是可能的；因为黑色在任何场合中几乎都不能作为保护之用。有若干鸟类，仅是其雄鸟呈黑色，另有一些鸟类，其雌雄二者均呈黑色，而它们的喙或头皮则呈鲜明的色彩，由此产生的颜色对比大大增添了它们的美；从雄翅鸫的鲜明的黄喙，从黑色雄松鸡和雷鸟眼睛上方的艳红色皮肤，从雄黑凫的各种鲜明颜色的喙，从黄嘴山鸦、黑天鹅以及黑鹳的红喙，我们看到了这种美。这个情况使我注意到巨嘴鸟上的巨型鸟喙也许是性选择的结果，这样来显示装饰在其巨喙上的各式各样色彩鲜艳的条纹。我看这并不是不可信的①。鸟喙基部和眼睛周围的裸皮往往也同样是色彩灿烂的；高尔德先生在提到某一个物种时说道②，其喙色“在交配期间无疑是最优美和最灿烂的。”巨嘴鸟以其巨喙来显示其优美的色彩，巨喙的松质的构造虽然尽可能使它变轻，但也给它带来了不便，正如雄锦雉以及某些其他鸟类的羽饰妨害了它们的飞行，给它们带来了不便一样。

如上所述，各个物种只有雄鸟呈黑色，而雌鸟则呈暗色，同这种情况一样，在少数场合中只有雄鸟全部或局部呈白色，而雌鸟则呈褐色或暗淡的杂色，如南美的几种铃鸟、南极黑雁、银雉等即是。因此，按照上述同样的原理，许多鸟类的雌雄二者通过性选择获得了其多少完全白色的羽衣是可能的，诸如鹮、若干种有漂亮羽饰的

① 关于巨嘴鸟的巨嘴迄今尚无满意的解释，至于其鲜艳的色彩，有关解释还要少。贝茨先生说（《亚马孙河流域的博物学家》，第2卷1863年，341页），它们是用嘴来啄取树枝末端的果实；同样地，像其他作者说过的，它们还用巨嘴去攫取其他鸟类巢里的卵和幼鸟。但是，正如贝茨先生所承认的，这种鸟嘴“对于用它所要达到的目的来说简直不能认为是形状很完善的工具。”如果说这种鸟嘴仅仅用作把握器官，则其宽度、深度，以及长度所示明的那样巨大体积乃是不可理解的。贝尔特先生相信这等鸟喙的基本用途在于抵御敌害，特别是在树洞里孵卵的雌鸟尤其需用它（《博物学者在尼加拉瓜》，197页）。

② 即龙首鹦鵼（*Ramphastos Carinatuss*），见古尔德的《鹦鵼科专论》（Monograph Ramphastidae）。

白鹭、某些鹮类、鸥类、燕鸥类等就是这样。在某些这种场合中，只有到了成熟期羽衣才变为白色。若干种鲣鸟、热带鸟类等，还有雪雁的情况均系如此。后者既然是在尚未被雪覆盖的“不毛地面上”产卵繁育，并且在冬季向南迁居，因此毫无理由假设其雪白的成年羽衣是作为保护之用的。关于懒钳嘴鸭，我们有更好的证据可以证明这种白色羽衣乃是一种婚羽的性状，因为它只在夏季发育；而不成熟的幼鸟以及身着冬装的成鸟都呈灰色和黑色。至于有许多种类的鸥，它们的头部和颈部在夏季变为纯白色，在冬季以及在其幼小状态则呈灰色或杂色。反之，较小的鸥鸟或潜鸟以及某些种燕鸥，所发生的情况正好相反；因为其幼鸟在头一年，以及成鸟在冬季，它们的头部或呈纯白色或比在生殖季节的色彩暗淡得多。后面这些情况提供了另一种事例，表明性选择好像往往以不定的方式发生作用。①。

水栖鸟类获得白色羽衣者远比陆栖鸟类常见得多，这大概决定于水栖鸟类的巨大体型和强大飞行能力，所以它们能容易地防卫自己或逃避猛禽类，此外它们和猛禽类也不常遇。结果，性选择在这里并没有受到保护作用的干扰或支配。毫无疑问，在广阔海洋上方翱翔的鸟类，当因其全白色或深黑色而容易得见时，其雄鸟和雌鸟的彼此觅得就容易得多；因此这等色彩可能就像许多陆栖鸟类呼唤鸣叫那样地用于同一目的②。当一只白色的或黑色的鸟发现一具在海上漂动或冲上海滩的尸体并向它飞下时，在很远的地方就可看到这只鸟。而且它会引导同一物种的和其他物种的鸟飞

① 关于鸥属、潜鸟以及燕鸥，见麦克吉利夫雷的《英国鸟类志》，第 5 卷，515、584、626 页，关于雪雁，见奥杜邦的《鸟类志》，第 4 卷，562 页。关于懒钳嘴鸭，见布莱思先生的论述，《彩鹮》，1867 年，173 页。

② 关于兀鹫，可以注意到它们在高空翱翔，既远又广，就像海洋上的水鸟那样，它们有三四个物种几乎是完全白色或大部白色，许多其他物种则呈黑色。因此这里再一次表明了显著的色彩在生殖季节也许能帮助雌雄二者互相找到对方。

向那具尸体,但是,这对第一个发现者是不利的,所以那些最白的或最黑的个体所获得的食物不会多于色彩较不强烈的个体。因此不能为此目的通过自然选择而逐步获得这种显著色彩。

既然性选择受到像审美那样一种徬徨不定的因素所支配,于是,我们就能理解在具有几乎相同习性的鸟的同一类群中,何以会存在白的或接近白的物种,而且存在黑的或接近黑的物种,——例如,既有白的又有黑的美冠鹦鹉、鹳、鹮、天鹅、燕鸥和海燕。同样地,黑白斑物种有时和黑的以及白的物种一起在同一类群中出现;如黑颈天鹅,某些燕鸥和普通喜鹊皆是。我们在经过彻底调查任何大量采集品之后可以断言,鸟类对强烈对比的色彩是喜爱的,因为雌雄二者的差异往往是,就淡白色和纯白色的对比而言,雄鸟的白色比雌鸟的更纯,就各种暗色同较深的暗色对比而言,雄鸟的暗色比雌鸟的更深。

甚至还会出现这种情形:单纯的新颖,即为了改变而发生的轻微变化,有时也会作为一种魅力对雌鸟发生作用,就像风尚的改变对我们发生作用一样。例如,有些鹦鹉的雄者几乎不能说比其雌者更美丽,至少按我们的审美标准来看是如此,但它们有这样几点是不同的,如具有一条玫瑰色的颈圈,而不是"一条鲜明的翡翠般的绿色狭颈圈",或者雄鹦鹉具有一条黑颈圈,而不是"位于颈部前方的黄色半颈圈,"而且其头部呈浅玫瑰色而不是梅青色①。既然有那么多雄鸟以其延长的尾羽或冠羽作为它们主要的装饰,所以上述雄蜂鸟的缩短尾羽以及雄秋沙鸭的缩短冠羽,大概就像我们所欣赏的许多时装改变中的一种改变那样。

苍鹭科的一些成员提供了一个更为奇妙的例子,表明新颖的颜色似乎为了新颖而受得赞赏.灰鹭的幼鸟呈白色,而其成鸟则呈暗鼠色;亲缘相近的一种印度白鹭不仅其幼鸟而且其成鸟的冬羽

① 参阅杰尔登关于长尾鹦鹉属的论述,见《印度鸟类》,第1卷,258—260页。

均呈白色，这种白色到生殖季节就变为鲜艳的淡金黄色。要说这两个物种的以及同一科某些其他成员的幼鸟由于任何特殊目的而变为纯白色[①]并因而引起其敌害的注目，乃是不可信的，或者说这两个物种之一，其成鸟在一个冬季从不下雪的地方特别变为白色，也是不可信的。反之，我们有较好的理由来相信许多鸟类获得这种白色乃是作为性的装饰的。因此，我们可以做出结论说，灰鹭和印度白鹭的某一早期祖先为了婚配的目的而获得了白色羽衣，并把这种颜色传递给了幼鸟；因而其幼鸟和成鸟就像某些现存的白鹭那样变成了白色；此后这种白色由幼鸟保存了下来，同时成鸟以更强烈显著的色彩代替了这种白色。但是，如果我们能够进一步追溯这两个物种的早期祖先，我们大概可以看到，其成鸟是色彩暗淡的。根据幼鸟呈暗色，成鸟呈白色的许多其他鸟类的类比，我可以推论出情况大概就是这样的；根据另一种喉鹭的情况来类比，问题就清楚了，这种鹭的色彩同灰鹭的色彩正相反，其幼鸟呈暗色，而成鸟呈白色，幼鸟保持了往昔的羽衣状态。因此，在悠久的生物由来的系统中，灰鹭、印度白鹭及其某些近亲的成年祖先似曾经历了下述变化：第一，暗淡的色调；第二，纯白色；第三，由于风尚（如果我可这样表达的话）的另一种变化，它们表现了现今的鼠色、微红色或淡金黄色。只有根据鸟类本身崇尚新颖这一原理才可以解释这等连续的变化。

关于鸟类四章的总结

大多数雄鸟在生殖季节是高度好斗的，而且有的还具有适于

① 美国的青色鹭和红色鹭的幼鸟也是白色的，成鸟的颜色犹如各自特有的名称。奥杜邦（《鸟类志》第3卷，416页；第4卷，58页）在想到羽衣的这种显著变化将大大使"分类学家们为难"时，似乎颇为高兴。

同其竞争对手进行战斗的武器。但最好斗和武装得最好的雄鸟很少或从来不是单单依靠赶跑或杀死其竞争对手的能力而取得成功的，它们还有媚惑雌鸟的特殊手段。这等手段有些是鸣唱的能力，或发出奇怪的叫声，或如器乐的演奏，结果雄鸟在发音器官或某些羽毛构造方面就要同雌鸟有所差异。根据产生各种声响的多种多样的奇特手段，我们深刻意识到这种求偶手段的重要性。许多鸟类在地面或天空，有时还在事先预备好的地方进行爱情舞蹈或作滑稽表演以尽力媚惑雌鸟。但许多种类装饰物，最鲜艳的色彩，鸡冠和垂肉，漂亮的羽饰，延长的羽毛，顶结等等，乃是最常见的手段。在某些场合中单是新颖似乎也起了一种媚惑作用。雄鸟的一些装饰物对它们来说一定是高度重要的，因为在并非少数的场合中，获得这等装饰物是以增加来自敌害的危险为代价，甚至以损害同其竞争对手进行战斗的某种能力为代价的。很多物种的雄鸟不到成熟时不会披上其装饰性的装束，或只在生殖季节才披上这等装束，或者其色彩到这时才变得更为鲜艳。某些装饰性的附器在求偶行为的期间增大了，饱满了，而且色彩鲜明了。雄鸟精心地夸示其魅力，以达到最佳的效果；这一切都是在雌鸟的面前进行的。求偶有时是一件冗长的事，而且许多的雄鸟和雌鸟集合于一个预定的地点。要是假定雌鸟不欣赏雄鸟的美丽，就无异于承认它们那些灿烂的装饰、它们所有的盛大仪式和夸示魅力都是无用的；而这种假定是不可信的。鸟类具有敏锐的识别能力，在少数场合中，可以表明它们具有一种审美力。还有，据了解雌鸟对某些雄性个体偶尔显露出一种显著的偏爱或厌恶。

如果承认雌鸟喜爱比较漂亮的雄鸟，或无意识地受到这等雄鸟的刺激，那么雄鸟通过性选择大概就会缓慢地、但肯定地变得越来越富有魅力。主要发生变异的乃是雄鸟，从下述事实我们可以推论出这一点，即：在雌雄相异的几乎每个属中，雄鸟彼此之间的差异远比雌鸟彼此之间的差异大得多；这种情况又可从下述事实得

到充分阐明，即：在某些亲缘近的代表性物种中，其雌鸟几乎无法区别，而其雄鸟则十分不同。自然状况下的鸟类所提供的个体差异可以充分满足性选择工作的需要；不过我们已经看到它们偶尔会表现更强烈的显著变异，而这等变异如此经常重视，以致它们如果可以诱惑雌鸟就会马上被固定下来。变异的法则必然决定最初变化的性质并将大大影响其最后结果。在亲缘相近物种的雄鸟之间可以观察到的级进指明了它们所通过的那些步骤的性质。它们还以最有趣的方式说明了某些性状是如何发生的，诸如孔雀尾羽上的齿状眼斑，以及锦雉翼羽上的球与穴眼斑。许多雄鸟的灿烂色彩、顶结、优美的羽饰等等不会是作为保护手段而获得的；它们的确有时会招致危险。我们可以肯定这等性状的产生并不是由于生活条件之直接而一定的作用，因为雌鸟也暴露在相同的条件之下，却往往同雄鸟极度不同。虽然变化了的外界条件的长期作用在某些场合中可能对雌雄两性、有时对某一性别产生一定的效果，但更重要的结果将是一种变异倾向的加强或产生更强烈显著的个体差异；而这种差异将为性选择提供最好的基础。

雄鸟为了装饰自己，为了产生各种声响以及为了彼此相斗而获得的那些性状，永久地或者在一年的某些季节定期地只传递给雄性一方还是转递给雌雄双方，皆由遗传法则来决定，而与选择无关。为什么各种性状有时会按某一种方式传递，有时又按另一种方式传递，在大多数场合中都是我们所不知的；但变异的时期似乎常常是决定性的原因。当雌雄二者共同遗传了所有性状时，它们必然彼此相似；但是，由于连续变异的传递方式不同，因此，甚至在同一属中，从雌雄二者彼此最密切相似到最广泛不相似之间，可以找到每一个可能的级进。关于遵循差不多相同生活习性的亲缘密切相近的物种，其雄鸟彼此之间的差异主要是由性选择作用造成的，而雌鸟彼此之间的差异则主要是由于或多或少地分享了雄鸟这样获得的那些性状。加之，由于强烈显著的色彩和其他装饰物通过性选

择而被积累起来，生活条件一定作用的效果在雄鸟中便被掩盖，而在雌鸟中则不然。雌雄二者的诸个体虽受这样影响，但由于许多个体间的自由杂交，在各个相继的时期内仍能保持接近一致。

关于雌雄色彩相异的物种，有些连续变异可能是常常倾向于相等地传递给雌雄双方的；但是，当这种情况发生时，雌鸟由于在孵卵期间易遭受毁灭，它获得雄鸟的鲜明色彩就会受到阻止。通过一开始就限于传递给同一性别的连续变异的选择，使一只雌鸟呈暗淡色彩而雄鸟仍保持其鲜明色彩，并无困难。许多物种的雌鸟是否实际上发生了这样的改变，目前还有疑问。通过性状相等地向雌雄双方传递的法则，当雌鸟的色彩变得和雄鸟一样显著时，它们的本能似乎也常常发生了改变，所以它们被引导去建造有圆顶的或荫蔽的鸟巢。

一小类奇妙的事例表明，雌雄二者的性状和习性正好完全颠倒，因为雌鸟比雄鸟更大、更强壮、更好斗，而且色彩更鲜明。她们还变得如此爱争吵，以致为了占有雄鸟而常常互相搏斗，就像其他好斗物种的雄鸟为了占有雌鸟而相斗一样。如果这类雌鸟惯常地把其竞争对手赶走，并且靠显示其鲜明色彩或其他魅力以尽力吸引雄鸟的话，——看来这是很可能的，那么我们就能理解她们如何通过性选择和受性别限制的遗传而逐渐变得比雄鸟更美丽——而后者则保持不变或只有轻微的改变。

无论何时，只要在相应年龄遗传的法则起支配作用，而不是受性别限制的，遗传法则起支配作用，那么，如果其双亲发生变异的时候是在生命晚期——我们知道，我们的家鸡偶尔也有其他鸟类所发生的情况永远如此——则其幼鸟将不受影响，而其成鸟的雌雄二者将会发生改变。如果这两个遗传法则都起支配作用，而且无论哪一性别的变异均发生在生命晚期，那么就只有那一性别才发生改变，而另一性别和幼鸟都不受影响。当鲜明色彩或其他显著性状的变异都发生在生命早期时，无疑就像常常发生的情况那样，不

到生殖时期性选择不会对它们发生作用；因而，如果它们对幼鸟有危险的话，就会通过自然选择而被淘汰。这样，我们就能理解那些发生在生命晚期的变异何以被保存下来，作为雄鸟的装饰；而雌鸟和幼鸟则几乎不曾受到影响，所以彼此相似。关于具有不同的夏羽和冬羽的物种，其雄鸟在冬夏两季或只在夏季不是和雌鸟相似就是和雌鸟有差异，幼鸟和老鸟彼此相似的程度和性质都是极其复杂的；而这等复杂性是由雄鸟最初获得的性状来决定的，这等性状以各种不同的方式，如在年龄、性别和季节的限制下传递下去。

既然有那么多物种的幼鸟在色彩和其他装饰方面只发生很小改变，所以这使我们能够对其早期祖先的羽衣做出某种判断；如就全类情况来看，我们就可推论出我们的现存物种自从那个时期以来已大大增加了其美丽，而幼鸟不成熟的羽衣向我们指明了有关那个时期的间接记录。许多鸟类，尤其是那些多半生活在地面上的鸟类无疑是为了保护自己而呈现暗淡色彩的。在某些事例中，其雌雄二者羽衣暴露在上方表面的均呈暗淡色彩，同时只有雄鸟的底面通过性选择才装饰着各式各样的色彩。最后，根据这四章所列举的事实，我们可以做出结论说，战斗的武器、发声的器官、许多种类的装饰物、鲜明而显著的色彩，一般都是由雄鸟通过变异和性选择而获得的，并且按照几项遗传法则以各种不同的方式传递下去——雌鸟和幼鸟则相对地改变很小[①]。

---

① 我非常感激斯克莱特先生为我审阅了有关鸟类的第四章以及后面有关哺乳动物的两章。这样在一些物种的名称上，以及在叙述任何一件为这位著名博物学所清楚了解的事实上，我得以避免发生谬误。不过关于我从不同作者引用来的叙述的精确性如何，他当然完全没有责任。

第十七章

哺乳类的第二性征

斗争的法则——限于雄者所有的特殊武器——雌者不具武器的原因——为雌雄二者所共有的、而最初由雄者所获得的武器——这等武器的其他用途——它们的高度重要性——雄者的较大身体——防御的手段——四足兽雌雄任何一方对配偶的选择

关于哺乳类动物，其雄者赢得雌者似乎是通过斗争，而不是通过魅力的夸耀。最怯懦的、不具有任何特殊斗争武器的动物，在求爱季节也进行殊死的冲突。两只雄野兔据知相斗到其中一只死去为止，雄鼹鼠常常相斗，有时会造成致命的结果；雄松鼠屡屡争斗，"彼此皆负重伤"，雄河狸也是如此，因而"几乎没有一张皮不是有伤痕的"①。我在巴塔戈尼亚看到美洲羊驼的皮也是伤痕累累；有一次几只美洲羊驼如此精神贯注地进行争斗，以致冲到我身旁也无所畏惧。利文斯通说，南非许多雄性动物差不多都显示有在以往争斗中所负的伤痕。

水栖哺乳动物也受斗争法则的支配，与陆栖哺乳动物无异。众

① 参阅沃特顿关于两只野兔相斗的记载，《动物学者》(Zoologist)，第1卷，1843年，211页。关于鼹鼠，贝尔，《英国兽类志》，第1版，100页。关于松鼠，奥杜邦和贝克曼，《北美的胎生四足兽》(Viviparous Quadrupeds of N. America)，1846年，269页。关于河狸，格林先生，《林奈动物学会会刊》(*Journal of Lin. Soc. Zoolog.*)第10卷，1869年，362页。

所周知，雄海豹在繁殖季节如何用牙和爪拼命地进行争斗；它们的皮同样也是伤痕累累。雄抹香鲸在繁殖季是很嫉妒的；在斗争中"它们的颚往往咬在一起，扭来扭去"，所以它们的下颚常常被弄歪①。

众所周知，具有特殊战斗武器的一切雄性动物都进行猛烈斗争。关于雄鹿的勇敢及其殊死的争斗，常见于记述；世界各地都曾发现过它们的骨骼，双方的角紧紧扭在一起而不可解，表明胜利者和战败者同归于尽②。世界上没有一种动物比求偶时的象更为危险的了。坦克维尔勋爵给过我一份有关奇玲根狩猎公园中公野牛相斗的图解，它们是巨大原牛的后裔；虽在身体大小上退化了，但勇气依然如旧。1861年有数牛争霸；人们看到有两头比较年青的公牛合伙向一头老的带头公牛进行攻击，把它打倒，使其丧失战斗力，所以狩猎公园管理人以为这头老公牛已经受到致命伤而倒在附近的树林中了。但是，数日之后当其中一头幼公牛单独走近那片树林时，这位"狩猎地之王"激起了复仇的火焰，跑出树林，很快就把它的敌对者弄死了。于是这头老公牛悠然地回到牛群，长期保持了其无可争辨的统治。沙利文海军上将告诉我说，当他住在福克兰群岛时，他曾输入一匹英国幼种马，它常同八匹母马往来于威廉港附近的山中。在这座山里还有两匹野公马，各领一小群母马；"这些公马一相遇就要发生争斗。这两匹野公马都曾试图单独地同那匹英国种马争斗并把它的母马赶走，但都失败了。有一天，这两匹野

① 关于海豹的战斗，艾博特(C. Abbott)，《动物学会会报》(*Proc. Zool. Soc.*)1868年，191页；布朗先生，同上"会报"，1868年，436页；劳埃得，《瑞典的猎鸟》，1867年，412页；还可参阅彭南特(Pennant)的文章。关于抹香鲸，J. H. 汤普森，《动物学会会报》，1867年，246页。

② 参阅斯克罗普(《鹿的狩猎技术》，Art of Deer-stalking，17页)关于两只马鹿(*Cervus elaphus*)的角纠结在一起的记载。理查森，《美国边境地区动物志》，1829年，252页，他说，马鹿、驼鹿以及驯鹿的角都会这样地纠结在一起。史密斯在好望角发现过两只角马(guns)的骨骼，它们的角也是如此。

公马一齐来了，并对英国种马进行攻击。管理马群的队长看到这种情况，乘马驱至该处，发现其中一匹野公马同英国种马争斗，另一匹则驱赶母马，而且已经赶走了四匹。于是那位队长把整个马群赶入畜栏，问题才告解决，否则那两匹野公马是不会舍母马而去的。

雄性动物凡具有用于普通生活目的之切断齿或撕裂齿者，如食肉类、食虫类和啮齿类，很少再有另外同其竞争对手进行战斗的特殊武器。至于许多其他动物的雄者，其情况就很不相同了。我们看到鹿和某些种类的羚羊就是如此，它们的雄者有角，而雌者无角。有许多动物，其雄者的上颚犬齿、或下颚犬齿、或上下颚双方犬齿都远比雌者的大得多，也许雌者完全没有这等犬齿，有时仅留有一个隐蔽的残迹。某些羚羊、麝、骆驼、马、野猪、各种猿类、海豹、海象均为可举之例。雌海象有时完全不具獠牙①。印度的雄象以及儒艮的上颚切齿乃是攻击性的武器②。雄独角鲸唯有左侧犬齿非常发达，呈螺旋状，有时长达 9 至 10 英尺，所谓角者即是。人们相信雄独齿鲸用这种角相斗；因为"很少找到一只没有损坏的角，偶尔在损坏处还会发现另一个齿尖。"③ 雄独角鲸的左侧犬齿仅是一个残迹，长约 10 英寸左右，埋藏于颚中；但是，有时左右两侧的犬齿也同等发达，虽然这是罕见的。雌独角鲸的左右两侧犬齿永远是残迹的。雄抹香鲸的头大于雌者，在水战中大的头无疑是有助益的。最后，成年的雄鸭嘴兽具有一种奇器，即前腿上的距，同毒蛇的毒牙密切相似；但是，按照哈廷的说法，这个腺体的分泌物并无毒；而

---

① 拉蒙特(Lamont)先生说(《海象的交配季节》(Seasons with the Sea-Horses，1861 年，143 页)，雄海象的獠牙重 4 磅，比雌海象的长(后者重约 3 磅)。雄海象相斗凶猛异常。关于雌海象偶尔缺少獠牙，参阅布朗的文章，《动物学会会报》，1868 年，429 页。

② 欧文，《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，283 页。

③ 布朗先生，《动物学会会报》，1869 年，553 页。关于这个獠牙的同源性质，参阅特纳教授的论著，《解剖学及生理学杂志》，1872 年，76 页。关于雌者两只獠牙都发达的情况，参阅克拉克的论著，《动物学会会报》，1871 年，42 页。

且在雌鸭嘴兽的腿上有一个凹陷，显然为承受那个距之用①。

如此雌者没有雄者所具有的那样武器，则这等武器系用于同其他雄者进行争斗就毫无疑问了；这等武器是通过性选择获得的，而且只传递给雄者。要说雌者由于武器对她们无用、多余或在某一方面有害而被阻止去获得这等武器，乃是不可能的。相反，既然雄者常常把它们用于各种不同的目的，尤其是用于防御其敌手，所以它们在许多动物的雌者身上如此发育不良，或完全缺如，却是一件可怪的事。关于雌鹿，如果在每年的一定季节内有大型的枝角发育，关于雌象，如果有巨大獠牙发育，假定它们对雌者没有任何用处，那么这大概会造成生命力的重大浪费。结果，倘连续变异的传递仅限于雌者，则这等角和牙通过自然选择在雌者方面就会倾向于消失；因为倘不如此，则雄者的武器大概就要受到有害的影响，而且这会造成较大的恶果。从全面来看，并且根据对下列事实来考虑，可能的情况似乎是，如果各种武器在雌雄两方而有所差异，那么这种差异一般决定于通行的传递方式。

在整个鹿科中雌者具角的只有驯鹿这一个物种，但雌鹿们的角比雄驯鹿的角稍小、稍细而且分枝略少，因此，自然会认为这种角对于雌者有某种特殊用途，至少在这一场合中是如此。雌驯鹿的角充分发育时系在 9 月，从那时起，经过整个冬季，直到 4 月或 5 月雌鹿产生小鹿时为止，都保持着角。克罗契先生曾在挪威特别为我调查过此事，看来雌驯鹿在这个季节为了产生小鹿似乎要隐匿两周之久，然后又再现，那时一般已经没有角了。然而我听里科斯先生说，在新斯科夏雌驯鹿保持的角的期间有时要长些。另一方面，雄驯鹿角的脱落时期要早得多，约在 11 月末。雌雄驯鹿皆有同样的需要，遵循同样的生活习性，面且雄驯鹿在冬季无角，因此这

① 关于抹香鲸和鸭嘴兽，欧文，同前杂志，第 3 卷，638，641 页。祖特文(Zouteveen)在该书的荷兰文译本(第 2 卷，292 页)中，曾引用哈廷的说法。

等角在冬季对雌驯鹿来说不见得会有任何特殊用途，冬季占其具角时期的大部分。雌驯鹿的角也未必是由鹿科的某一古代祖先遗传而来的，这是因为地球上所有地方的如此众多的物种的雌者均不具角，所以我们可以作出结论说，这是该类群的原始性状①。

驯鹿的角在极其幼小的时候就发育了；但其原因是什么，现在还弄不清楚。显然是角向雌雄双方传递起了作用。我们应该记住，角永远是通过雌者向下传递的，而且它有一种发育角的潜在能力，我们从老年的或患病的雌者可以看到这种情形②。再者，鹿的其他一些物种的雌者正常地或偶尔地表现有角的残迹；例如，雌羌鹿"具有硬而短的毛簇，其先端形成一个瘤状物，以代替角"；大多数雌美洲赤鹿的标本表明，"在角的位置上生有尖锐的骨质突起。"③根据这几种考察，我们可以做出结论说，雌驯鹿具有十分发育良好的角，乃是由于雄者最初获得了角作为同其他雄者进行争斗的武器；它们在雄者年龄异常小的时候就发育了，结果遂传递给雌雄二者。

现在转来谈谈鞘角反刍动物：关于羚羊，可以形成一个级进的系列，从雌者完全不具角的物种开始——进而到雌者的角小至几乎成为残迹的那些物种（例如叉角羚羊 *Antilocarpra americana*，

---

① 关于驯鹿的构造及其脱落，霍夫勃格（Hoffborg），Amoenitates Acad. 第4卷，1788年，149页。关于美国的变种或物种，里查森，《美国边境地区动物志》，241页；再参阅罗斯·金（Ross King）少校的《加拿大的狩猎爱好者》（Sportsman in Canada），1866年，80页。

② 小圣伊莱尔，《动物学通论》（Essais de Zoolog. Générale），1841年，513页。除去角之外，其他雄性性状有时也可照样地传给雌者；例如，邦纳（Boner）先生在谈到雌性小羚羊时说道（《巴伐利亚山区中小羚羊的狩猎》，Chamois Hunting in the Mountains of Bavaria，1860年，第2版，363页），老龄雌性小羚羊"不仅其头部同雄者的极相似，而且其背部有一行长毛，通常这只在雄者身上才有。"

③ 关于羌鹿，格雷博士，《大英博物馆哺乳动物目录》（Catalogue of Mammalia in the British Museum），第3部分，220页。关于美洲赤鹿，卡顿，《渥太华自然科学研究院院报》，1868年5月，9页。

这个物种在四只或五只中仅有一只具角者[①]，再进而到一些物种具有相当发达的角，但显然比雄者的角较小、较细，而且有时角的形状也不同[②]，——最后到达雌雄二者具有相等的角的那些物种为止。对驯鹿来说，同样地对羚羊来说，如上所述，在角的发育时期和角向某一性传递或向雌雄两性传递之间存在着一种关系；所以某些物种的雌者有角或无角以及其他物种的雌者具有较完善状态的角或较不完善的角，并不决定于它们有任何特殊用途，而是简单地决定于遗传。下述情况同这种观点相符合，即，甚至在同一个属中，有些物种的雌雄二者均具角，而另外一些物种唯独雄者具角。还有一个值得注意的事实：印度黑羚的雌者通常不具角，但布莱思先生曾看到具角的雌者不少于三只，而且没有理由来假定它们是老的或患病的。

山羊和绵羊的一切野生种，其雄者的角都比雌者的角为大，而且雌者常常完全无角[③]。这两种动物的几个家养品种，唯独其雄者具角，还有一些品种，例如北威尔士绵羊，虽然雌雄二者正常都具角，但母羊很容易变得无角。有一位可信赖的目击者在产羔季节有目的地对一群这种羊进行过检查，他告诉我说，羊羔初生时，其雄者的角一般比雌者的角发育得更充分。皮尔先生曾用雌雄二者永远都具角的隆克绵羊同无角的莱斯特绵羊以及无角的希罗普郡绒毛绵羊进行杂交；结果是，其雄性后代的角相当地缩小了，同时雌性后代则完全无角。这几个事实表明，母绵羊的角远远不像公绵羊的角那样是一个十分稳定的性状；这就引导我们相信绵羊的角最

① 此项材料蒙坎菲尔德(Canfield)博士提供，文见《动物学会会报》，1866年，105页。

② 例如，雌南非羚羊(*Ant. euchore*)的角同一个不同物种南美羚羊(*Ant. dorcas. Var. corine*)的角相似，参阅德马雷(Desmarest)的《哺乳动物学》(Mammalogie)，455页。

③ 格雷，《大英博物馆哺乳动物目录》，第3部分，1852年，160页。

初起源于雄者。

关于成年的麝牛，其雄者的角大于雌者的角，而且雌者的角基不相接触①。至于普通牛，布赖茨先生指出："在大多数野生牛类中，公牛的角比母牛的牛既大且粗，母爪哇牛的角显著地小，而且非常向后倾斜。关于牛的家养族，无论是隆背的还是不隆背的类型，其公牛的角既短且粗，而母牛和阉牛的牛则比较长而细；关于印度水牛，也是公牛的角既短且粗，而母牛的角比较长而细。关于印度野牛，其雄者的角大都比雌者的角既长又粗②。福塞思·梅杰博士也告诉我说，在瓦尔达诺发现过一个头骨化石，据信这是属于狂野牛这种母牛的，它完全没有角。我再补充一点，雌白独角犀的角一般大于雄白独角犀的角，但不及后者那样有力；另外有些犀牛的物种，据说其雌者的角较短③。根据这几个事实我们可以推论说，所有种类的角，甚至在雌雄双方同等发育时，大概也是最初由雄者获得，以便战胜其他雄者，而且或多或少完全地传递给了雌者的。

去势的效果值得注意，因为它对上述同一问题的解决投射了光明。公鹿在去势之后，永不重新生角。但雄驯鹿必须除外，它在去势后仍然重新生角。这一事实以及雌雄二者均具角的情况，最初一看似乎证明了在这一物种中角并不构成性的特征④；但是，它们是在雌雄体质尚无差异的很幼小年龄中发育的，所以它们不应受到去势的影响，这并没有什么奇怪，即使它们最初是由雄者获得的，也是如此。关于绵羊，雌雄二者正常均具角；我听说雄威尔契绵

① 理查森，《美国边境地区动物志》，278 页。

② 《陆和水》，1867 年，346 页。

③ 安德鲁·史密斯，《南非动物学》(Zoology of S. Africa)，图版第 19。欧文，《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，624 页。

④ 这是赛德利茨(Seidlitz)的结论，《达尔文学说》(Die Darwinsche Theorie)，1871 年，47 页。

羊的角由于去势而相当地缩小了;但缩小的程度大部分视其实行去势的年龄而定,其他动物的情况也是如此。公美利奴羊具有大角,而母美利奴羊则"一般没有角";去势对这个品种所产生的作用多少要大些,所以倘在早期实行去势,它们的角"就几乎保持不发育的状态。"[①] 在几内亚海岸有一个品种,它们的雌羊决不具角,温伍德·里德先生告诉我说,其公羊在去势之后就完全没有角。公牛在去势之后,它们的角就发生很大改变,不再短而粗,而是比母牛的角更长,在其他方面则同母牛的角相似。印度黑羚提供了多少相似的情况:其雄者具有长而直的螺旋形角,二角接近平行,并且向后倾斜;其雌者偶尔具角,但是当这等角出现时,其形状却很不相同,因为它们不是螺旋形的,而且彼此相距甚远,弯曲而角尖向前。那么,正如布赖茨先生告诉我的,在去势的雄性动物中,它们的角就像雌性动物的角那样地具有同样特殊的形状,不过比较长而粗罢了,这是一个值得注意的事实。如果我们可以根据类推法来判断,那么雌者在牛和羚羊这两种场合中大概向我们表明了各个物种的某一早期祖先所具之角的往昔状态。但去势为什么会导致角的早期状态的重现,目前还不能肯定地加以说明。尽管如此,下述说明似乎还是近理的,即:正如两个不同物种或两个不同族之间的杂交在后代中造成体质的扰乱,因而会导致常久亡失性状的重视[②],同样地,由去势在个体体质中所引起的扰乱,也会产生同样的效果。

不同物种或不同族的象的獠牙,依性别不同而有所差异,其情

① 我非常感激维克托·卡勒斯教授,他为我在萨克森做过有关这一问题的调查。冯·纳修西乌斯(H. von Nathusius)说,如对绵羊在其幼年时进行阉割,它们的角或者完全消失,或者仅留残迹(《牲畜饲养》Viehzuchr,1872年,64页);但我不知道他所谈的是美利奴羊,还是普通品种。

② 我曾举出各种试验以及其他证据,证明情况确系如此,见我的《动物和植物在家养下的变异》,1868年,39—47页。

况同反刍类几乎一样。在印度或马六甲，只是雄象具有十分发达的獠牙。大多数博物学者认为锡兰象是一个不同的族，但有些博物学者则认为它们是一个不同的物种，“在一百头中未曾发现一头具有獠牙，少数具有獠牙者也都是雄象①。”非洲象无疑是不同的，它们的雌者具有大而充分发达的獠牙，虽然它们不及雄象的獠牙那样大。

象的几个族和几个物种的獠牙差异——鹿角的巨大变异性，这在野生的驯鹿中表现得尤其显著——印度黑羚的雌者偶尔具角，以及叉角羚羊的常常不具角——少数一些雄独角鲸具有两个獠牙——有些雌海象完全没有獠牙——都是有关次级性征极端变异性的事例，也是次级性征在亲缘关系密切接近的诸类型中易于出现差异的事例。

虽然獠牙和角在所有场合中似乎是最初作为性武器而发达起来的，但它们常常用于其他目的。象用它的獠牙向虎进攻；按照布鲁斯的材料，它用牙刻截树干，直到容易把它弄倒时为止，它还会用牙把棕榈树的含淀粉的树心取出；非洲象常常使用一只獠牙，而且永远使用这一只，去探查地面是否能承当它的重量。普通公牛用角来保卫其牛群；按照劳埃德的材料，瑞典的驼鹿用它的大角一下就可以把狼击死。还可以举出许多相似的事实。动物角的第二种最奇妙用途，曾为赫登上尉所见②，即：喜马拉雅角羚的雄者如果不慎自高处跌落，就把头向内弯，以其巨角触地，减轻震荡，据说北山羊也会如此。母山羊的角较小，不能做此用，但是，由于母羊的性情比较温和，并不迫切需要这种奇特的防护。

---

① 埃默森·坦南特(J. Emerson Tennent)爵士，《锡兰》(Ceylon)，1859年，第2卷，274页。关于马六甲，见《印度群岛杂志》(*Journal of Indian Archipelago*)，第4卷，357页。

② 《加尔各答博物学杂志》(*Calcutta Journal of Nat. Hist.*)，第2卷，1843年，526页。

每一种雄性动物各以特有的方式来使用它的武器。普通公羊的角基冲撞力如此之大，以致我曾见到一个强壮的汉子犹如儿童那样被撞翻在地，山羊以及绵羊的某些物种，如阿富汗的圆角盘羊①，使其后腿立起，然后不仅猛烈顶撞，"而且以其弯刀形双角的有棱顶尖向下刺入，再猛然向上一拉，就像一把马刀一般。当阿富汗圆角盘羊向一只以好斗闻名的大型家养公羊进攻时，采取了一种全然新奇的战斗方法而获胜，它总是立即接近其敌手，对准其面鼻，用头猛撞，然后在反击来到之前即飘然逸去。"在彭布罗克希尔郡有一只公山羊，它是一群羊的头羊，这群羊野化已有数代之久，据知它仅在一次战斗中就把几只公羊杀死了；这只公羊具有巨大的角，全长足有 39 英寸。众所周知，普通公牛用角抵撞和掀挑其敌手；但是，据说意大利水牛从来不用它们的角，而是用它们的凸额对其敌手进行猛击，当后者倒翻在地后，更以膝盖践踏之——这是普通公牛所不具有的一种本能②。因此，一只狗如果被水牛的鼻子按住，就会被碾死。然而，我们必须记住，意大利水牛是长期家养的，其野生亲类型肯定不会具有相似的角。巴特利特先生告诉我说，如果把一头母好望角水牛放进围栏，和一头同种的公水牛生活在一起，这头母水牛就要对公水牛进行攻击，而后者则猛烈地把母水牛推来推去，以为回敬。但是，巴特利特先生明了，如果不是这头公水牛表现了高贵的克制，只要用它的巨角从侧面一击，就可以容易地把那头母水牛杀死。雄长颈鹿的角比雌长颈鹿的角稍长，前者以奇妙的方式使用它的带有茸毛的短角；它向两边摇摆头部，几乎是由上而下，其力至大，我曾看到一块坚硬的木板在它一击之下就出现了深深的刻痕。

---

① 布莱思先生，《陆和水》，1867 年 3 月，134 页，系根据赫顿上尉以及其他人士的材料。关于彭布罗克希尔郡山羊，参阅《田野新闻》，1869 年，150 页。

② 贝利：《关于兽角的使用》(Sur l'usages des Cornes)，见《自然科学年刊》，第 2 卷，1824 年，369 页。

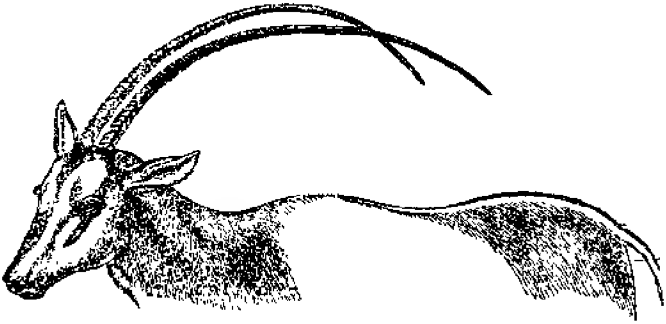


图 63　阿拉伯大羚羊(*Oryx leucoryx*),雄(引自 Knowsley Menagerle)

羚羊角的形状甚为奇特,其如何使用,有时难以想象;例如南非跳羚的角相当短而直,角尖锐利,向内弯曲,几成直角,彼此相对;巴特利特先生不知道这等角如何使用,但他认为它们可以重创敌手面部的两侧。阿拉伯大羚羊(图 63)的角微向后方弯曲,极长,角尖超出背部的中点,在背部上方几乎成平行线。这样,它们似乎特别不适于相斗;但巴特利特先生告诉我说,当两个这种动物准备相斗时,它们先跪下,置其头于两条前腿之间,当作这种姿势时,它们的角差不多同地面平行,甚为接近,角尖向前直指,稍微向上。于是这两只格斗者彼此逐渐接近,每一只都力图把朝上翘的角尖插入对方的身下;如果有一只成功地做到这一点,它就突然跃起,同时高耸其头,这样,它就会使其敌手负伤,甚至把它戳穿。双方总是跪下,尽可能提防对方的暗算。记载表明,有一只这种羚羊甚至用它的角有效地敌住了一头狮于;然而,为了使角尖指向前方,它不得不把头置于前腿之间,这样,当受到任何其他动物攻击时,一般就要处于非常劣势。因此,它们的角变为现在这样的巨大长度及其特殊位置,大概不是为了保护自己以防御猛兽之用的。可是,我们

可以知道，一旦阿拉伯大羚羊的某一古代雄性祖先获得了适度的角长时，它大概就会在同其雄性对手的战斗中被迫把头略微向下朝内弯曲，就像某些雄鹿现在的情形那样；于是它大概最初偶尔获得了跪下的习性，以后便成为一种固定的习性，这并非是不可能的。在这种场合中，几乎肯定的是，双角最长的雄者比双角较短的雄者占有巨大优势；于是它们的角通过性选择就会逐渐地变得越来越长，终于获得它们现在这样的异常长度和位置。

许多种类的雄鹿具有分枝的角，这是一个难于解释的奇特事例；因为单独一个直角尖肯定远比几个分歧的角尖更能造成严重的创伤。在菲利浦·埃格顿爵士的博物馆内陈列着一具马鹿的角，长 30 英寸，其上"不少于 15 个分枝；"在莫里茨堡仍然保存有一对马鹿的角，是弗雷德里克一世于 1699 年射杀的，其中一只角的分枝数令人吃惊，竟达 33 个，另一只角的分枝为 27 个，二者合计为 60 个分枝。里查森绘制过野生驯鹿的一对角，共有 29 个角尖[①]。根据鹿角的分枝形式，特别是根据诸鹿相斗偶尔用前足相踢的情况[②]，贝利实际上做出的结论不是说鹿角害多于利吗？但是，这位作者忽略了竞争的雄鹿所进行的猛烈战斗。关于分枝角的用途或利益，我感到十分困惑，于是我向科隆塞的麦克尼尔请教，他曾长期细心地观察过赤鹿的习性，他告诉我说，他从来没有见过鹿角的分枝有什么用途，不过额前的分枝由于向下倾斜，对于保护前额大有裨益，其角尖同样也可用于攻击。菲利浦·埃格顿爵士也告诉我说，马鹿和粘鹿在争斗时彼此突然猛撞，以角尽力抵住对方的身

---

① 关于马鹿的角，欧文，《英国化石哺乳类动物》(Brifish Fossil Mammals)，1849 年 478 页；关于驯鹿的角，理查森，《美国边境地区动物志》，1829 年，24 页。关于莫里茨堡的材料，系维克托·卡勒斯教授提供，特此致谢。

② 卡顿说，"当在鹿群中的优势问题一旦解决并为全群所接受之后"，美洲鹿就用其前足相斗。贝利，《兽角的使用》，见《自然科学年刊》，第 2 卷，1824 年，371 页。

体，拼命相斗。当一方被迫屈服并后退时，胜利者便尽力用它的额前分枝角刺入被击败的对手。这样，上部的分枝角似乎主要地或完全地用于相推或相刺。尽管如此，还有几个物种，其上部分枝角是作为进攻武器之用的；在卡顿的渥太华猎园中，有一人受到加拿大马鹿的攻击，当数人前往救援时，那头雄鹿“决不从地面上把头抬起，事实上其面部几与地平，其鼻差不多处于二前足之间，但是当它窥测新的冲刺方向时，就把头转向一边。”当做这种姿势时，角尖便直对敌方。“它必须把头稍微抬起，才能转动它，因为它的角特长，如果不把头在一边抬起，就无法转动，同时在另一边它的角已触及地面。”这只公鹿用这种方法把一群前来救援的人逐渐赶到150—200英尺以外，而受攻击的那个人终于被弄死①。

鹿角虽是有效的武器，但我以为单独一个角尖无疑要比分枝角危险得多；对鹿类具有丰富经验的卡顿完全同意这个结论。分枝角对于防御其他竞争的雄鹿虽是高度重要的手段，但它容易纠结难分，看来也并不十分完善地适于这种目的。于是我猜想它们的角也许部分地作为装饰之用。鹿的分枝角以及某些羚羊的优美竖琴状的角呈双重弯曲（图64），在我们眼里都具有装饰性，任何人对这一点都不会有争论。如果它们的角有如古代骑士的华丽装备，可以增添鹿和羚羊的高贵风采，它们可能部分地为此目的而发生变异，虽然其实际用途主要还在于争斗；不过我没有掌握有利于这一见解的证据。

最近发表的一个有趣事例表明，在美国的某一地方有一只鹿，它的角目前正在通过性选择和自然选择进行变异。一位作者在一份最优秀的美国杂志②上写道，晚近21年来他都在阿迪龙达克行猎，那里盛产弗几尼亚鹿。约在14年前，他最初听说有一种钉状角

① 参阅上述卡顿的论文附录，其中有非常有趣的记载。

② 《美国博物学者》，1869年12月，552页。

图 64　库杜捻角羚(*Strepsiceros kudu*)
引自安德鲁·史密斯爵士的《南非洲动物学》

的雄鹿。这种鹿逐年增多;约在5年前,他射得一只,以后又射得一只,而现在射得的就很多了。"钉状角同弗吉尼亚鹿的普通角大不相同。它是一个单独的钉状物,比分枝角为细,长不及分枝角的一半,自额部突向前方,末端锐利。具有这种角的雄鹿比普通雄鹿占有相当的优势。这种钉状角可以使鹿更迅速地穿过茂密的森林和矮树丛(每一个猎人都知道雌鹿和一周岁的雄鹿远比具有笨重分枝角的大型雄鹿跑得快得多),除此之外,钉状角同普通角相比,还是一种更有效的武器。具有钉状角的雄鹿由于占有这种优势,就会胜过普通雄鹿,总有一天前者在阿迪隆达克斯可以完全取代后者。毫无疑问,具有钉状角的雄鹿的最初出现,不过是一种偶然的反常现象。但这种钉状角给予它一种优势,而且使它可以传续这种特性。终于它们会慢慢地把具有分枝角的鹿排挤出

它们的栖息地。”一位批评家对这种说法提出十分有力的异议，问道：如果说单角现今如此有利，那么祖代类型的分枝角为何能够发达？对此我的回答只能是，利用新武器实行新式攻击大概是最有利的，上述阿富汗圆角绵羊的例子阐明了这一点，它就是这样战胜了一只以其战斗力闻名的家养公羊。如果一只公鹿只是和同一种类的其他公鹿相斗，那么它的分枝角虽然十分适于同其竞争对手相斗，而且慢慢获得长而分枝的角虽然对叉角变种有利，但决不能因此就说分枝角最适于战胜具有不同武装的敌手。上述跳羚的例于表明，如果它只和同一种类的竞争对手相斗，它的角越长大概就越有利，但若遇到一种短角羚羊而勿须跪下者，则胜利几乎肯定要归于这种羚羊。

具有獠牙的雄性四足兽，以各种方式使用它们，正如角的使用情况一样。公野猪用其獠牙进行侧击和向上挑；麝①以其獠牙向下刺，均可给其敌手以重创②。海象的颈部虽很短，身体虽很笨，却能用牙同样敏捷地从上方、下方以及侧面进击③。已故的福尔克纳博士告诉我说，印度象按其獠牙的位置和曲度而采取不同的争斗方式。如果它的獠牙直插前方而且向上，它就能把一只虎抛掷甚远——据说可至 30 英尺；如果它的獠牙短而且向下，它就会突然地尽力把虎压在地上，这样，对乘象人是危险的，因为容易把他掷出象轿之外④。

很少四足兽具有特别适于同雄性对手进行战斗的两种不同武器。然而雄吠麂提供了一个例外，因为它既有角，又有突出的犬齿。

① musk-deer，一名香獐，形似鹿而小，雌雄皆无角，雄之上颚甚发达，有细长犬齿突出口外，长约三寸。——译注

② 帕拉斯，《动物学专论》(Spicilegia Zoologrca)，第 13 分册，1779 年，18 页。

③ 拉蒙特，《海象的交配季节》，1861 年，141 页。

④ 关于短獠牙的莫克那(Mooknah)变种攻击其他象的方法，再参阅科斯(Corse)的文章，见《自然科学学报》，1799 年，212 页。

但我们可以从下述事实推论一种类型的武器随着岁月的推移，可以代替另一种类型的武器。关于返刍动物，角的发达甚至同中等发达的犬齿一般处于相反的关系。例如，骆驼、红褐色美洲羊驼、鼷鹿和麝均无角，但有有效的犬齿；“雌者的这等犬齿永远小于雄者的”。骆驼科除了具有真正的犬齿以外，在上颚还有一对犬齿形状的切齿①。另一方面，雄鹿和雄羚羊都有角，它们却很少有犬齿；如有犬齿，也总是小形的，所以它们在战斗中究竟有何作用是可以怀疑的。在蒙大拿山羚羊中，其幼小雄者只有犬牙的残迹，当它成长以后，犬齿即行消失；而所有年龄的雌者都不具犬齿；但某些其他种类的羚羊和鹿据知偶尔也有犬齿的残迹②。公马有小形的犬齿，母马完全没有犬齿或仅有残迹；但这等犬齿似乎并不用于战斗，因为公马用切牙咬啮，而且不像骆驼和红褐色美洲羊驼那样地可以把嘴张大。如果成年雄者具有犬齿，现已无效，同时雌者没有犬齿或仅具其残迹，我们就可断言，这个物种的早期雄性祖先具有有效的犬齿，而且部分地传递给了雌者。雄者的这等犬齿的缩小，似乎是由于其战斗方式发生了某种变化所致（但马的情况并非如此），而这种变化乃是由新武器的发达所引起的。

獠牙和角对其拥有者显然具有高度重要性，因为它们的发育要消耗大量的有机物质。亚洲象——一个绝灭的多毛物种的一个獠牙以及非洲象的一个獠牙据知各重 150、160 和 180 磅；有些作者所记载的重量还要大③。鹿的角定期地更新，这在体质消耗上一

① 欧文，《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，349 页。

② 吕佩尔（Rüppell）论鹿和羚羊的犬齿，见《动物学会会报》，1836 年 1 月 12 日，3 页，其中并有马丁先生关于雌美洲鹿的附注。再参阅法克纳的关于一只成年雌鹿的犬齿的报道，见《古生物学的专题研究及记录》（Palaeont、Memoirs and Notes），第 1 卷，1868 年，576 页。老龄雄麝的犬齿有时长达三英寸（《动物学专论》，第 13 分册，1779 年，18 页），而老龄雌麝的犬齿仅高出牙床半英寸。

③ 埃默森·坦南特，《锡兰》，1859 年，第 2 卷，275 页；欧文，《英国化石哺乳类动物》，1846 年，245 页。

定更大；驼鹿的角重达50至60磅，还有一种绝灭的爱尔兰驼鹿，它们的角重达60至70磅——而后者的头骨平均仅重5.25磅。绵羊的角虽不定期地更新，但许多农学家们认为它们的发达会给饲养主造成明显的损失。再者，公鹿当逃避猛兽的追击时，其角重有碍它的奔驰，而且大大减弱其穿过树林的速度。例如，驼鹿角两个顶端之距为五英尺半，虽然它们在安步行走时，能够如此灵巧地运用它们的角，以致不会碰到或折断一个树枝，但当迅速逃避一群狼时，就不能那样灵巧地适用它们的角了。"当它前进时，高举其鼻，以便把角向后放在水平的位置；而做这种姿势时，就无法清楚地看到地面了。"[①] 大形爱尔兰驼鹿的两个角端相距实际上竟达八英尺！当角上被以茸毛时，这在赤鹿要持续20周左右，它们极易受伤，所以在德国这时公鹿的习性多少有些变化，它们避开茂密的森林，往来于幼树和低矮灌木之间[②]。这些事实会使我们想起，雄鸟获得装饰性的羽毛是以飞翔受到阻碍为代价的，而获得其他装饰物则以损害它同雄性对手相斗的力量为代价的。

关于哺乳动物，正如情况所常常表明的那样，雌雄二者大小不同，雄者几乎永远比雌者大而强。古尔德先生告诉我说，澳大利亚有袋类的这种情况也是显著的，它们的雄者直到异常老的年龄还继续生长不已。但是，一个最特殊的例子还是由一种海狗提供的，其成年的雌者在重量上小于成年的雄者六分之一[③]。吉尔博士说，众所周知，多配偶的海狗，其雄者彼此相斗非常剧烈，而且雌雄二

① 理查森，《美国边境地区动物志》，关于驼鹿，236、237页；关于驼鹿角的扩张，《陆和水》，1869年，143页。再参阅欧文的《英国化石哺乳动物》，关于爱尔兰驼鹿，447、455页。

② 《森林动物》(Forest Creatures)，博纳，1861年，60页。

③ 参阅艾伦先生的很有趣的论文，见《剑桥大学有袋类比较动物学学报》(*Bull. Mus. Comp. Zoolog. of Cambridge*)，美国版，第2卷，第1号，82页。其重量系由谨慎的观察家勃兰特上尉所确定。吉尔博士，《美国博物学者》，1871年1月；关于雌雄鲸的相对大小，《美国博物学者》，1873年1月。

者在体型上差别很大；单配偶的物种则差别很小。鲸类也提供了证据，表明雄者的好斗性同其体型有一定关系，好斗鲸类的雄者在体型上大于雌者；雄露脊鲸，彼此不相斗，它们不但不大于雌者，反而较小；相反地，雄巨头鲸彼此激烈相斗，它们的身体“往往有其对手牙齿所造成的伤痕”，其雄者的体型为雌者的两倍。雄者的强大力气，正如亨特很久以前所指出的①，永远表现在同其他雄性对手战斗时所使用的那些身体部分——例如公牛的粗壮颈部。雄性四足兽也比雌者更为勇敢，更为好斗。毫无疑问，这等特性的获得，一部分是通过性选择，这是由于较强的和较勇敢的雄者对较弱的雄者取得了一系列的胜利所致，一部分则是通过使用的遗传效果。在体力、大小以及勇气方面的连续变异无论是起于单纯的变异性，还是起于使用的效果，雄性四足兽都是借着连续变异的积累而获得了在生命晚期出现的这等特性，因而这等特性在很大程度上大概只限于传递给雄性。

根据上述若干考察，我急于得到有关苏格兰猎鹿狗的材料，因为其雌雄二者在体型上的差异大于任何其他品种（虽然嗅血猎狗的雌雄差异也相当大），也大于我所知道的任何野生犬种。因此，我向卡波勒斯先生请教，他以成功地训养这个品种而闻名于世，他曾对自己养的那些狗进行过称重和度量，蒙他盛情相助，为我从各种来源收集了下述事实。优良的公苏格兰猎鹿狗，其肩高从 28 英寸至 33 英寸，甚至 34 英寸；其重量从 80 磅至 120 磅或更多。母苏格兰猎鹿狗的高度从 23 英寸至 27 英寸，甚至 28 英寸；其重量从 50 磅至 70 磅，甚至 80 磅②。卡普尔斯断言，公猎鹿狗的重量从 95 磅

① 《动物的经济法则》(Animal Economy)，45 页。

② 再参阅理查森的《关于犬的手册》(Manual on the Dog)　）页。麦克尼尔先生曾就苏格兰猎鹿狗提出过非常有价值的报告，他首先　　人们注意到这种狗雌雄二者大小不相等，见斯克罗普的《鹿的狩猎技术》。卡波勒斯有意发表有关这一著名品种的全部材料及其历史，我翘首以待。

至 100 磅，母猎鹿狗的重量 70 磅，大概是一个可靠的平均数；但有理由相信，雌雄二者在往昔都曾达到过更大的重量。卡波勒斯先生曾对降生后两周的小狗进行过称重，一胎中四只小公狗的平均重量超出两只小母狗的平均重量 6.5 盎斯；在另一胎中四只小公狗的平均重量超出一只小母狗的重量不到一盎斯；长到三周时，这等小公狗的平均重量超出那只小母狗 7.5 盎斯，长到六周时，差不多超出 14 盎斯。赖特先生在给卡普尔斯先生的一封信中写道："我曾对许多胎小狗的大小和重量做过记录，就我经验所得，按照一般规律，小公狗和小母狗的重量在五至六个月之前差异很小；此后小公狗即开始增大，无论在大小方面或重量方面都超过小母狗。在降生时或降生后数周之内，小母狗偶尔大于小公狗，但最终一定要被小公狗所超过。"科隆塞的麦克尼尔先生断言，"公狗不超出两岁不会长成，虽然母狗达到这种状态要早些。"按照卡普尔斯先生的经验，公狗直到 12～18 个月的时候还在长身量，在重量方面直到 18～24 个月还继续增长；而母狗一到 9～14 或 15 个月时就停止长身量，在重量方面则到 12～15 个月的时候停止增长。根据这几种记载，苏格兰猎鹿狗不到生命的相当晚期，其雌雄二者在大小方面显然不会获得充分的差异。用于追猎的几乎完全是公狗，因为，正如麦克尼尔告诉我的，母狗没有足够的体力和重量来推倒一只成年的鹿。我听卡波勒斯先生说，在远古时代的传说中，公狗最负盛名，而母狗仅作为有名公狗的母亲而被提及。因此，许多世代以来在体力、大小、速度以及勇气方面受到测验的主要是公狗，而且选其最优良者为传种之用。由于公狗不到生命的相当晚期不会达到其充分大小，所以按照常常提出的那条规律来看，它们倾向于把其特性只传给雄性后代；这样，苏格兰猎鹿狗雌雄之间的大小极不相等大概就可以得到解释了。

有些少数四足类，其雄者具有专为对付其他雄者进攻的器官或部分。某些种类的鹿，就像我们已经见到的那样，主要地或完全

地使用它们角的上部分枝来防卫自己；正如巴特利特先生告诉我的，跳羚用其微微弯曲的长角非常巧妙地进行防卫；但是这等角同样地也可作为攻击器官来使用。同一位观察家说道，犀类在相斗时彼此用它们的角挡开对方的侧击，卡嗒卡嗒地作响，其声甚高，就像野公猪使用獠牙时的情况那样。虽然野公猪彼此拼命相斗，但是，按照布雷姆的材料，它们很少负重伤，这是由于彼此的打击皆落在獠牙之上，或者落在那层遮盖肩部的软骨般的皮肤之上，德国猎人把这块皮肤叫作盾；在这里我们看到了一个身体部分专门为了防卫而发生了改变。野公猪在壮年时期的下颚獠牙是用于战斗的（参阅图 65），但是，正如布雷姆所述，到了老年，这等獠牙向内和向上弯曲得如此厉害，甚至高过鼻部，所以不再能用于战斗了。然而，它们仍然可能作为防御的手段，甚至更为有效。为了补偿下颚獠牙不能再作武器的损失，一向从两侧稍微向外突出的上颚獠牙在年老时便大大增加了其长度，并且向上弯曲得很厉害，因而它们也可用于攻击。尽管如此，一头老龄的野公猪对人来说，就不像六七岁的野公猪那样危险了①。

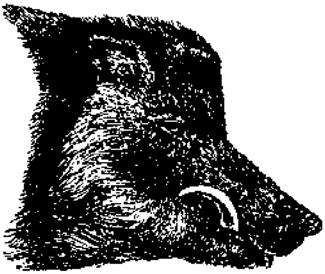


图 65　壮年期野公猪的头

西里伯斯产的充分成长的雄东南亚疣猪（图 66），其下颚獠牙是可怕的武器，就像欧洲野猪在壮年时期的獠牙那样，然而，其上

① 布雷姆，《动物生活》，第 2 卷，729—732 页。

颚獠牙如此之长并牙尖向内弯曲如此之甚，有时甚至弯及额部，以致完全不能作为进攻武器之用。与其说它们是牙，倒不如说他们很像角，它们显然不能作为牙用，所以从前设想这种动物是用它把头部挂在树枝上面来休息的！如果把头部稍微侧向一方，上颚獠牙的凸面大概可以作为最好的防御器；因此，老龄东南亚疣猪的这等獠牙"一般都是折断的，似乎是由于争斗所致。"① 于是在这里我们看到了一个奇妙的事例：东南亚疣猪的上颚獠牙在壮年时期所正常呈现的构造显然只适于用作防御；而欧洲野公猪的下部獠牙只在老年时期具有差不多同样的形状，惟其程度较轻，这时它们才以同样的方式用作防御。

雄疣猪（图 67）在壮年时期的上颚獠牙向上弯曲，而且尖锐，是一种可怕的武器。其下颚獠牙比上颚獠牙尤其锐利，但很短，所以它几乎不能用作攻击的武器。然而它们同上颚獠牙的根部密切相合，作为它们的基础，所以它们一定可以大大加强上颚獠牙的力量。无论上颚獠牙或下颚獠牙似乎都没有为了防卫而发生特别变异，虽然它们在一定程度上无疑是用于这一目的的。但是，疣猪并不缺少其他特别的防御手段，它在面部两侧的眼睛下方各有一块软骨性的椭圆形护垫，与其说它是坚硬的，勿宁说是韧性的，而且向外突出二三英寸；当看到这种活的动物时，巴特利特先生和我都以为，当其敌手用獠牙从下方进行攻击时，这等护垫大概就会向上翻起，于是就可以极好地保护其多少突出的眼睛。根据巴特利特先生的权威材料，我还可以补充一点：这等公野猪在战斗时直接面对面而立。

最后，非洲河猪在面部两侧的眼睛下方各有一个软骨性的硬瘤，同疣猪的韧性护垫相当；它在上颚还有两个骨质突起，位于鼻

① 参阅华莱士先生关于这种动物的有趣报道，见《马来群岛》，1869 年，第 1 卷，435 页。

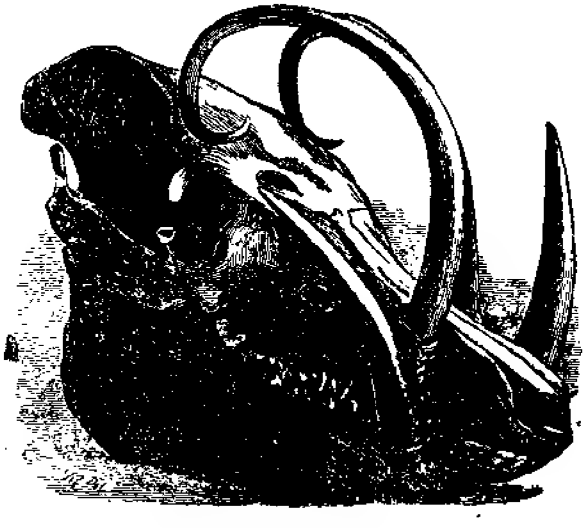


图 66 东南亚疣猪(*Babirusa*)的头骨(采自华莱士的《马来群岛》)

部的上方。在伦敦动物园里，一只这种公野猪最近弄坏了疣猪的圈栏，蹿入其中。它们彻夜相斗，至晨双方疲惫不堪，但均未负重伤。上述护垫和瘤状物满布血迹，其上有非常严重的戳伤和擦伤；这是一个重要的事实，因为它阐明了这等护垫和瘤状物的用途。

虽然猪科很多成员的雄者具有武器，而且像我们刚才看到的，还具有防御手段，但这等武器似乎在较晚的地质时期内才获得的。福赛思·梅杰博士① 列举了几个中新世的物种，其中似乎没有一

① 《意大利自然科学协会会刊》(*Atti della Soc. Italiana di Sc. Nat.*)1873 年，第 15 卷，第 4 分册。

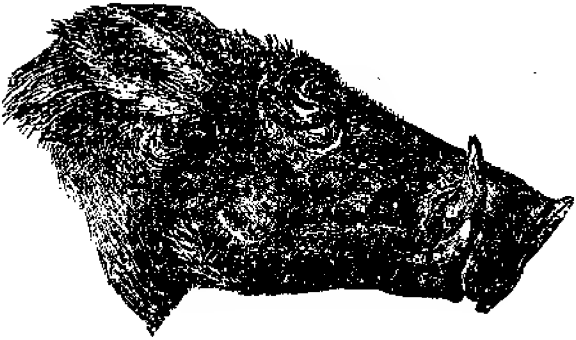


图 67 母疣猪的头部 引自《动物学会会报》(1869 年);图示具有公疣猪的同样性状,虽然其程度较差。附注:当此图最初刻成时,我还以为它是雄的。

个物种的雄者的獠牙是非常发达的;卢特迈耶教授以前也曾被这一事实所打动。

雄狮的鬃毛对敌对雄狮的攻击是一种良好的防御,这是它容易遇到的一种危险.因为,正如史密斯爵士告诉我的,雄狮之间进行极其猛烈的争斗,幼狮不敢接近老狮。1857 年,布拉米奇的一只虎弄坏了一只狮子的围栏,蹿入其中,于是一个可怕的场面出现了:"狮子的颈部和头部由于受到鬃毛的保护,未受重伤,但那只虎终于把狮子的腹部撕裂,数分钟后即行死去。"① 加拿大山猫喉部和颏部周围的丛毛,在雄者要比在雌者长得多;但这种丛毛是否用于防御,我不知道。众所周知,雄海豹彼此拼命相斗,其某些种类如

① 《时代》(*The Times*),1857 年 11 月 10 日。关于加拿大山猫,参阅奥杜邦和贝克曼的《北美四足兽》(Quadrupeds of North America),1846 年,139 页。

鬃海狗[①]的雄者具有长鬃，而雌者的鬃却很短或根本没有。好望角的雄狒猴的鬃和犬齿要比雌者的大得多；其鬃大概作为保护之用，因为，我曾问过伦敦动物园的管理员，为了不暴露我提问的目的，我说，是否有任何种类的猴专向颈背攻击，我得到的答覆是，除了狒狒之外，都不如此。爱伦堡曾把成长的雄阿拉伯狒狒的鬃比作幼狮的鬃，幼小的雌雄狒狒以及成长的雌狒狒几乎都没有鬃。

雄美洲野牛的羊毛状的巨鬃，长几及地，而且雄者的鬃远比雌者的发达，我以为这种鬃大概是在剧烈的战斗中作为保护之用的；但一位有经验的猎人告诉卡顿说，他从来没有见过任何可以支持这种信念的事实。雄马的鬃比雌马的茂密；我曾特别询问过两位经验丰富的驯马人和养马人，他们都曾管理过许多马群，皆确言"它们永远力图咬住对方的颈部"。然而，这并不是说，当颈毛作为保护之用时，在最初就是为了这个目的而发达起来的，虽然在某些野兽中可能是这样，如狮子。麦克尼尔告诉我说，雄马鹿喉部的长毛当被猎逐时，可以起重大的保护作用；但这等长毛并不见得是专门为了这个目的而发达起来的；否则，幼者和雌者也会有同等的保护。

四足兽的雌雄任何一方对配偶的选择

在下章对雌雄二者在发声、气味以及装饰物等方面所表现的差异进行讨论之前，在这里先考察一下雌雄二者当结合时是否实行选择，将会有某些方便。在雄者争夺雌性霸权之前或在此之后，

① 鬃海狗亦有译作"海狮"的，为海驴(*Ofaria stelleri*，英文名 steller's sea lion)的一种，常群集于福克兰岛。斑海豹(*Phoca vitulina*)，多产于北太平洋。二者均属鳍脚类。
默里博士，关于海狗，《动物学会会报》，1869年，109页。艾伦先生在上述论文中(75页)曾提到，雄者的颈毛固然长于雌者的颈毛，但是否值得叫作鬃，尚可怀疑。

雌者是否会挑选任何特殊的雄者；或者，雄者如果不是多配偶的，是否会选择任何特殊的雌者？育种家的一般印象似乎是，雄者可以接受任何雌者，雌者是否毫无差别地接受任何雄者，则是一个疑问。在第十四章中已经指出，关于鸟类，有大量的直接和间接的证据阐明了雌者对其配偶是实行选择的；那么，位于较高等级并且具有较高心理能力的雌四足兽如果不一般地、或者至少常常地实行某种选择，那大概是一种奇怪的反常现象。在大多数场合中，如果一个不能取悦于雌者或者不能使它激动的雄者来求偶时，这个雌者就要逃去；如果一个雌者受到几个雄者追求，如普通发生的情形那样，当雄者彼此争斗时，这个雌者往往有机会同一个雄者逃去，或者至少同其临时交配。在苏格兰常常可以看到雌赤鹿有后面这种情形，这是菲利普·埃各顿爵士以及其他人士向我说过的①。

关于自然状况下的雌四足兽在婚配时是否实行任何选择，几乎不可能知道的很多。勃兰特上尉有充分的机会对海狗进行观察，下述有关一只海狗求偶的奇妙细节，就是根据这位人士的权威材料②。他说，“许多雌海狗当到达其进行繁育的岛屿时，好像渴望依附某一特定的雄者，爬上外围的岩石，眺望全群，发出呼叫，并似乎倾听那熟悉的声音。于是更换另一地点，重复同样的动作……。当有一只雌者一到海岸，最相近的一只雄者就从上方下来同雌者相会，同时发出一种喧嚣声，就像母鸡呼唤其雏鸡一般。雄者向它点头弯腰，进行哄诱，直到它处于雌者和水之间，所以它无法再避开它。于是雄者的态度为之一变，厉声吼叫，把它赶到其配偶所在的

① 博纳先生曾对德国赤鹿做过最好的描述(《森林动物》，1861年，81页)，他说，“当雄鹿保卫其权利，反击一只入侵者的时候，另一只入侵者趁机侵入其配偶禁区，一一驱走为其战利品。完全一样的情况也发生于海豹，参阅艾伦先生的论文，同前杂志，100页。”

② 艾伦先生，《剑桥大学有袋类比较动物学学报》，美国版，第2卷，第1号，99页。

地方。然后又继续这样进行，直到其配偶所在之地差不多充满时为止。于是诸雄者登上较高处所，窥伺时机，当其更为幸运的邻居疏于防范时，即行窃取其'妻妾'。当进行窃取时，它们把雌者叼在嘴中，高高举起，超出其他雌者的头部之上，小心谨慎地把它们放置在自己的'妻妾'之间，就像老猫携带小猫那样。居于更高处的雄者也按同法为之，直到整个场所充满雌者而后已。为了占有同一只雌者，两只雄者之间屡屡发生争斗，双方同时咬住这只雌者，以致撕裂为二，或者由于咬啮而受到重伤。当整个场所充满雌者时，老年雄者洋洋得意地巡阅其家族，申斥那些拥挤或打扰其他雌者的份子，而且凶猛地把一切入侵者赶跑。进行这样监视经常使自己忙碌不堪。"

关于自然状况下的动物的求偶，所知者非常之少，因此我曾努力发现家养四足兽在交配时所实行的选择会达到怎样程度。犬类提供了最好的观察机会，因为它们受到了细心的照顾，而且对它们可以充分理解。许多育种家对这一问题表示了强有力的意见。例如，梅休先生说，"母狗能够施给爱情，温柔的回忆对它有强烈的影响，就像我们所知道的比它更为高等的动物在其他场合里所表现的那样。母狗在爱情方面并非总是那么持重，而是容易委身于低等的杂种狗。若把母狗同外貌卑劣者同育一处，则在这一对配偶间常常会发生热爱，此后就永远不能制止。这种热爱是真实的，并非浪漫主义的，所以能够持久。"梅休先生所观察的主要是小型品种，他相信大型公狗对小型母狗有强烈的吸引力①。著名的兽医布莱恩说道②，他自己养的一条母哈巴狗非常热情地爱上了一条长毛垂耳狗，还有一条母谍犬也非常热情地爱上了一条杂种狗，以致经过

① 《狗的管理》(Dogs: their Management)，梅休著，第 2 版，1864 年，187－192 页。

② 亚力山大·沃克(Alex Walker)，《论血族婚》(On Intermarriage)，1838 年，276 页，244 页。

几个星期之后，它们才同自己的品种交配。我曾收到同样的而且可以信赖的两项记载，表明一条母拾物猎狗和一条母长毛垂耳狗都爱上了㹴。

卡波勒斯先生告诉我说，他可以亲自保证下述更为显著的事例是确实的，即，一只贵重的、异常聪明的雌㹴爱上了邻居的一条长毛垂耳狗，它竟爱到这样程度，以致势必常常把它拖走，才能离开那条公狗。把它永久隔离之后，它的乳头虽然屡现乳汁，但决不接受任何其他公狗的求爱，因而终生没有生仔，它的主人对此甚为遗憾。卡波勒斯先生还说，在他的狗窝中有一条母猎鹿狗，1868年曾三次产仔，同窝还有四条公猎鹿狗，每次母狗都对其中一条身体最大的、长像最漂亮的公狗表现了最显著的爱好，所有这四条公狗均在壮年。卡波勒斯先生观察到，母狗一般喜爱和它有过交往而相识的公狗；母狗的腼腆和懦怯最初使其倾向于拒绝陌生的公狗。相反地，公狗却似乎倾向于陌生的母狗。公狗拒绝任何特定的母狗，大概是罕见的，但是，一位著名的狗育种家——耶尔德斯雷俱乐部的赖特先生告诉我说，他知道有关这方面的一些事例；他举出自己饲养的一条公猎鹿狗为例，它对任何特定的母獒都不屑一顾，所以势必使用另一条公猎鹿狗才行。再举我所知道的其他事例大概是多余的，我只补充一点；巴尔先生细心地繁育过许多嗅血猎狗，他说，几乎在每一个事例中，公狗或母狗的特定个体都彼此表现了一种明显的爱好。最后，卡波勒斯先生又一年研究了这个问题之后，写信向我说，“我可以充分证明我以往的叙述，即，狗在繁育时彼此均表现有明显的爱好，这往往受到体形大小、毛色鲜明以及个性的影响，同时也受到以往彼此熟识程度的影响。”

就马来说，世界驰名的赛马育种家布伦基隆先生告诉我说，种马在其选择上如此屡屡反覆无常，没有任何明显的原因，就拒绝某一母马而就另一母马，以致必须惯常地对它施用各种诡计才行。例如，著名的公“大王”马决不会有意识地对母“斗士”马看上一眼，因

而势必施以诡计。对贵重的种赛马的需求如此之大，以致会把它弄得筋疲力尽，我们知道这就是这类种马为什么在其选择上那样苛求的部分原因。勃兰基伦先生从来不知道母马会拒绝公马；但在赖特先生的马厩中就曾发生过这种情形，所以势必对这匹母马进行欺骗。卢卡斯[①]引用过各种法国权威人士的论述，他说，"确有公马特别选取一定的母马，而对其他一切母马一概拒绝"。他根据贝伦的权威材料举出过有关公牛的相似事实；里克斯先生向我保证说，他父亲有一条公短角牛，"永远拒绝同一条黑母牛交配"。霍夫勃格在描述家养的驯鹿时说道："母鹿似乎很喜爱大而强壮的公鹿，避开幼小的以及壮年的鹿，于是那只公鹿将把诸幼鹿驱散"[②]。有一位传教士繁育过许多猪，他断言母猪往往拒绝某一头公猪，而立即接受另一头公猪。

根据上述事实可以断言，家养四足兽常常表现有强烈的独特反感和独特爱好，在这方面雌者甚于雄者更为常见。既然如此，则处于自然状况下的四足兽的交配大概不可能仅仅委于偶然。远为可能的是，雌者被特殊雄者所诱惑或引起雌者的激情，这等雄者比其他雄者具有某种较高程度的特性；但这等特性是什么，我们很少能够确切地发现。

---

① 《自然遗传专论》(Traité de l'Héréd. Nat.)，第2卷，1850年，296页。

② 《动物研究院院报》(*Amoenitates Acad.*)，第4卷，1788年，160页。

第十八章

哺乳类的第二性征(续)

声音——海豹的显著雌雄特性——气味——毛的发达——毛和皮肤的颜色——雌者比雄者装饰得更美的反常事例——由于性选择而发生的体色和装饰物——为了保护的目的而获得的体色——虽为雌雄二者所共有的体色,也往往是由于性选择而发生的——关于成年四足兽的斑点和条纹的消失——关于四手目的体色和装饰物——提要

四足兽使用它们的声音有各种不同目的,或作为危险的信号,或作为兽群中某一成员对另一成员的呼唤,或系母兽对亡失仔兽的召唤,或系仔兽呼唤母兽来保护自己;但对这等用途均无需在此讨论。我们现在所要讨论的仅仅是雌雄二者之间的声音差异,例如,雄狮和雌狮、公牛和母牛的声音差异。几乎所有雄性动物在发情季节远比在任何其他时期更多使用它们的声音;有些动物,例如长颈鹿和豪猪① 除了在发情季节以外据说是完全哑的。比如喉部(即喉头和甲状腺②)在繁殖季节开始时定期地肥大,因而可以设想它们强有力的声音由于某种未知原因对它们一定是高度重要的;但这一点非常可疑。根据二位有经验的观察家麦克尼尔先生和埃各顿爵士向我提供的材料,三岁以下的幼鹿似乎并不鸣叫;雄鹿

---

① 欧文,《脊椎动物解剖学》,第3卷,585页。

② 同前书,595页。

在繁殖季节开始时才开始鸣叫，当它们到处不停地漫游去寻求雌鹿时，最初仅偶尔一鸣，其声低沉。当雄鹿进行战斗之前，则大声鸣叫，而且声音拖长，但在实际冲突中，则毫不出声。惯于使用声音的所有种类的动物当处于任何强烈的感情之中时都会发出各种不同的噪声，例如当激怒和准备战斗时就会如此；但这可能只是神经兴奋的结果，于是引起身体的几乎所有肌肉的痉挛收缩，例如当一个人在愤怒时的咬牙切齿和紧握双拳就是如此。毫无疑问，雄鹿以其鸣叫挑起彼此进行殊死的战斗；但是，具有比较强有力声音的那些雄鹿，除非同时也是更强壮的，具有更好武装的，而且更加勇敢的，否则就不会比其敌对者占有任何优势。

狮子的吼叫在威吓其敌对者方面可能对它有某种帮助；因为当它发怒时，同时也把其鬃毛竖起，这样就本能地使自己尽量显得可怕。但是，几乎不能假定，公鹿的鸣叫即使在这方面有所帮助，就会导致其喉部的定期扩大。有些作者提出，雄鹿的鸣叫系用于召唤雌鹿；但上述两位富有经验的观察家告诉我说，虽然雄鹿热切地寻求雌鹿，但雌鹿并不寻求雄鹿，根据我们所知道的其他四足兽习性来说，可以预料情况确系如此。另一方面，雌鹿的鸣声可以把一头或更多的雄鹿很快引到自己的身旁①，猎人们清楚地晓得这一点，所以他们在野外模仿雌鹿的鸣声。如果我们能够相信雄鹿有用声音使雌鹿激动或媚惑雌鹿们的能力，那么根据性选择原理以及受到同一性别和季节所限制的遗传原理，雄鹿发音器官的定期肥大就是可以理解的了；但我们还没有证据来支持这一观点。按照其情况来看，雄鹿在繁殖季节的高声叫唤，无论在求偶期间，或在战斗期间，或在任何其他方面，对它来说似乎都没有任何特殊用途。但是，在强烈的爱情、嫉妒以及愤怒中屡屡使用其声音，并连续许多

---

①　关于驼鹿和野生驯鹿的习性，参阅罗斯·金(Major W. Ross King)的著作，见《加拿大的猎人》，1866年，53、131页。

世代如此为之，我们能够不相信这对于雄鹿乃至对于其他雄性动物的发音器官最终会产生一种遗传效果吗？在我们现今的知识状况下，我以为这是最近理的一种观点。

成年雄大猩猩的叫声非常洪大，它具有一种喉囊，就像雄猩猩那样[①]。长臂猿为猿类中的最喧嚣者，而且苏门答腊合趾长臂猿也具有气囊；但是，曾有机会对其进行过观察的布莱恩先生并不相信其雄者比雌者更为喧嚣。因此，合趾长臂猿的叫声大概用作相互召唤，有些四足兽，例如河狸，肯定如此[②]。敏捷长臂猿之所以著名，是由于它有发出完全而准确的八度音阶的能力[③]，我们可以合理地推测这是用于性的媚惑；但在下一章，我势必还要谈到这个问题。南美的卡拉亚吼猴其雄者的发音器官大于雌者的三分之一，而且非常强有力。这种猴在温暖的天气里使树林朝夕充满着其压倒一切的叫声。雄猴开始其可怕的合唱，常常延续许多小时，雌猴有时也参加，但其吼叫的力量较小。优秀的观察家伦格尔[④]未能发现这是由任何特殊原因所激起的，他以为，就像许多鸟类那样，它们也喜欢自己的音乐，而且彼此争胜。上述大多数猿类之所以获得其强有力的叫声，是否为了击败其敌对者并向雌者献媚——或者，这等发音器官通过长期连续使用的遗传效果而被加强和增大，是否没有因此而获得任何特殊利益——我不敢说；但上述观点，至少在敏捷长臂猿的场合中似乎是最近理的。

我愿提一提海豹类所具有的两种很奇妙的雌雄特性，因为有些作者设想它们对声音有影响。雄象海豹的鼻子大大增长，并且能够竖起。在这种状态下有时长达一英尺。雌象海豹在生命的任何

① 欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，600页。
② 格林先生，《林奈学会会刊》，第10卷，动物学部分，1869年，362页。
③ 马丁，《哺乳动物志大纲》(General Introduction to the Nat. Hist. of Mamm. Animals)，1841年，431页。
④ 《巴拉圭哺乳动物志》，1830年，15、31页。

时期都不如此。雄象海豹发出一种狂热的、嘶哑的和咯咯的叫声，可闻于很远的地方，据说这种声是由其长鼻增强的；雌象海豹的叫声则有所不同。莱生把这种鼻的竖立比作鹑鸡类在向雌者求偶时的垂肉膨胀。另一种亲缘相近的冠海豹，其头上冠以巨大的兜帽即囊状物。这是由鼻隔所支持的，鼻隔向后伸长甚远，且于鼻内隆起，高达七英寸。这种兜帽被有短毛，而且是肌肉质的，膨胀时可以超出整个的头部！雄冠海豹当发情时在冰上进行剧烈的争斗，它们的吼声“据说有时如此之高，以致可闻于四英里之外”。当受到攻击时，它们同样地吼叫；当激怒时其头部囊状物即行膨胀而颤动。有些博物学者相信它们的声音就是这样增强的，但也有人举出这种异常构造还有各种其他用途。布朗先生以为它有保护作用，以防止所有种类的意外事故；但这是不可能的，因为，曾经杀过 600 头这种海豹的拉蒙特先生向我确言，其雌者的兜帽是残迹的，而且雄者的兜帽在幼小时不发达①。

气　味

有些动物，譬如说著名的美洲臭鼬，它们发出的那种压倒一切的气味好像是完全作为防御之用的。鼩鼱的雌雄二者均具腹部臭腺，毫无疑问，从鸷鸟和猛兽拒食它们的身体来看，这种气味是保护性的；尽管如此，其雄者的这种腺体在繁殖季节还是增大了。在

① 关于象海豹，参阅莱生的文章，见《博物分类学辞典》，第 13 卷，418 页。关于冠海豹，参阅德凯（Dekay）的文章，见《纽约博物学会年报》（*Annals of Lyceum of Nat. Hist. New York*），第 1 卷，1824 年，94 页。彭南特也曾从海豹猎人那里搜集过有关这种动物的材料。最充分的材料是由布朗先生提出的，见《动物学会会报》，1868 年，435 页。

许多其他动物中，雌雄二者的这种腺体是同等大小的[①]，但它们的用途还不清楚。另外有些物种，这种腺体只限于雄者才有，或者雄者的腺体比雌者的更为发达；它们的作用几乎总是在发情季节变得更强。雄象面部两侧的腺体在这期间变大，并且分泌一种具有强烈麝香气的分泌物。许多种类的蝙蝠，其雄者在身体各个不同部位具有腺体和可以突出的囊袋；据信这等囊袋是有气味的。

雄山羊放出的恶臭气是众所周知的，某种雄鹿的恶臭气也非常强烈而且持久。在普拉塔河岸边距离一群平原鹿半英里下风处，我就觉察到那里的空气沾染了这种雄羊的气味，我曾用丝手帕包了一块这种羊皮回家，虽然常用常洗，在一年零七个月后，当我一把这块手帕打开，还可闻到它保持着的这种气味痕迹。这种动物在生后一年以上才会散发它的强烈气味，如果在幼小时进行阉割，就永远不会散发这种气味[②]。除了某些反刍动物（如麝牛）的全身在繁殖季节弥漫着一般气味外，许多种类的鹿、羚羊、绵羊和山羊在身体各种不同部位，特别是在面部都具有臭腺。所谓泪囊或眶下窝也可以归入这一部分。这等腺体分泌一种半流体的恶臭物质，有时如此大量泌出，以致污及整个面部，我曾亲自看到一只羚羊就是如此。"雄者的这等腺体通常比雌者的为大，而且其发育受到去势的抑制。"[③] 按照德马雷的材料，红斑羚羊的雌者完全缺少这种腺体。因此，这种腺体无疑同生殖机能有密切关系。在亲缘密切相近的诸

① 关于河狸，参阅摩尔根先生的很有趣的著作《美国河狸》（American Beaver），1868 年，300 页。帕拉斯很好地讨论了哺乳动物散发气味的腺体，见《动物学专论》，第 8 卷，1779 年，23 页。欧文也曾记载过这种腺体，其中包括象和鼩鼱的腺体，见《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，634、763 页。关于蝙蝠，参阅多布森先生的文章，见《动物学会会报》，1873 年，241 页。

② 伦格尔，《巴拉圭哺乳动物志》，1830 年，355 页。这位观察家还举出一些有关这种气味的奇妙特性。

③ 欧文，《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，632 页。再参阅默里博士对这等腺体的观察材料，见《动物学会会报》，1870 年，340 页。德马雷关于红斑羚羊（*Antilope subgutturosa*），见《哺乳动物学》（Mammalogie），1820 年，455 页。

类型中，这种腺体也是有时存在，有时不存在。成年的雄麝，其尾部周围的裸皮湿漉漉地沾满了芳香液体，而成年的雌麝以及未满两岁的雄鹿，其尾部周围具毛，而且不散发香气。这种鹿所特有的麝香囊从其部位来看，必然限于雄者所有，而且形成了一种附加的芳香器官。奇怪的是，这种腺体所分泌的物质，按照帕拉斯的说法，在发情季节，浓度不变，数量也不增加；尽管如此，这位博物学者还承认这种腺体的存在在某一方面是同生殖行为有关联的①。

在大多数场合中，如果只有雄者在繁殖季节散发强烈的气味，那么这大概是用以刺激或魅惑雌者。我们千万不要以我们的嗜好来判断这个问题，因为，众所周知，鼠喜好某种香料油，猫喜好缬草，而我们却非常讨厌这些东西，狗虽然不吃死尸，却用鼻子嗅它们，并且在它们上面打滚。根据以上讨论公鹿鸣唤时所举出的理由，我们可以拒绝接受气味乃用以从远方招致雌者来就雄者的概念。积极的和长期连续的使用在这里不能发生作用，就像发音器官的情形那样。散发的气味对雄者来说一定是相当重要的，因为在某些场合中，大而复杂的腺体发达了，它们具有肌肉以便把囊袋翻开，并且启闭囊孔。如果气味最盛的雄者在赢得雌者方面是最成功的，而且所留下的后代遗传了它们逐渐完善化的腺体和气味，那么这等器官的发展就可以依据性选择得到解释了。

毛的发育

我们已经看到，雄四足兽在颈部和肩部的毛常常比雌者的发达得多；此外还可以举出许多有关事例。这种毛在雄者进行争斗时对它有保护作用，但在大多数场合中其发育是否特别为了这一目

① 帕拉斯，《动物学专论》，第 13 卷，1799 年，24 页。德穆兰(Desmoulins)，《博物分类学辞典》，第 3 卷，586 页。

的，还很有疑问。我们差不多可以肯定的是，当沿着背部仅有一条稀而狭的脊毛时，情况并非如此；因为这种脊毛几乎不能提供任何保护，何况脊背也不是容易受到伤害的地方；尽管如此，这等脊毛有时也仅限于雄者所有，或者在雄者身上比在雌者身上更为发达得多。有两种羚羊，林羚（参阅图70）[1] 和大羚羊，可作为例子。当马鹿以及雄野山羊激怒和惊恐时，这等脊毛即行竖起[2]；但不能设想它们的发达仅是为了威吓其敌手。上述大羚羊的喉部具有一大块界限分明的黑毛丛，雄者的这种毛丛比雌者的大得多。北非的鬣羊为绵羊科的一个成员，悬挂在其颈部和前腿上半部特别长的毛差不多把它的前腿都遮盖住了；但巴特利特先生不相信这等毛盖对雄者有什么用处，而雄者的这种毛盖比雌者的要发达得多。

许多种类的雄四足兽同雌者的差别在于前者面部的某些部位具有较多的毛或不同特性的毛。例如，只是公牛在其前额具有卷毛[3]。在山羊科中有三个亲缘密切近似的亚属，只是其雄者具有颔毛，有时且甚长；还有另外二个亚属，其雌雄二者均具颔毛，但普通山羊的某些家养品种则没有颔毛；塔尔羊的雌雄二者也都没有颔毛。北山羊的颔毛在夏季不发达，在其他时期也非常之小，以致可以称为残迹[4]。某些猿猴，如猩猩，仅限于雄者才有颔毛；或者，雄者的颔毛比雌者的大得多，例如卡拉亚吼猴和僧面猴（图68）就是如此。猕猴某些物种的颊毛是这样[5]，狒狒某些物种的鬃毛也是这

---

① 格雷博士，《诺斯雷动物园采访记》（Gleanings from the Menagerie at knowsley），28页。

② 卡顿论北美马鹿，《渥太华自然科学院院报》（*Transact. Ottawa Accd. Nat. Sciences*），1868年，36、40页；布莱思、关于喜马拉雅野山羊，《陆和水》，1867年，37页。

③ 《亨特的论文及其观察材料》（Hunter's Essays and Observations），欧文编，1861年，第1卷，236页。

④ 参阅格雷博士的《大英博物馆哺乳动物目录》，第3部分，1852年，144页。

⑤ 伦格尔，《哺乳动物志》，14页；德马雷，《哺乳动物学》，86页。

样。但大多数种类的猴，其雌雄二者面部和头部的各种毛丛都是一样的。

牛科以及某些羚羊类各个成员的雄者均具颈部垂肉，即大形皮褶，而在雌者方面其发达程度就差得多。

图 68　僧面猴(*Pithecia satanas*)，雄性(引自布雷姆)

关于这样的性差异，我们必须做出的结论是什么呢？大概谁也不敢说某些雄山羊的颔毛、公牛的颈部垂肉或某些雄羚羊沿着背部的脊毛在其普通习性方面对它们有任何用途。雄僧面猴的巨大颔毛、雄猩猩的长颔毛在它们进行战斗时可能保护其喉部；因为伦敦动物园的管理员告诉我说，许多猴类彼此攻击对方的喉部；但是，要说颔毛的发达，其意义不同于颊毛、触须以及面部的其他毛丛，似乎是不可能的；而且谁也不会设想它们可用于保护。我们必须把毛和皮的所有这等附器仅仅归因于雄者无目的的变异性吗？

不能否认这是可能的；因为，许多家养动物的某些性状，显然不是通过返祖从任何野生的祖先类型那里传下来的，这些性状仅限于雄者才有，或者在雄者比在雌者更为发达——例如，印度雄瘤牛的隆肉，公肥尾羊的尾巴，几个绵羊品种的雄者前额的弓形轮廓，最后，雄伯布拉山羊①的鬃毛、后腿长毛以及颈部垂肉，都是如此。有一个非洲的绵羊品种，只是公羊有鬃毛，这是一种真正的第二性征，因为我听温五德·里德说，如果对这种公羊施行去势，其鬃毛就不发育。正如在我的著作《动物和植物在家养下的变异》中所阐明的，要断言任何性状，甚至由半开化人所养的那些动物的性状，没有受过人类的选择并因而有所扩大，应该极其小心，但在刚才举出的那些例子中，却不可能如此，尤其是仅限于雄者所有的那些性状，或在雄者方面比在雌者方面更为强烈发达的那些性状，更不可能如此。如果确知上述非洲公羊同其他绵羊品种均属于同一个原始祖先的后裔，如果具有鬃毛、颈部垂肉的公伯布拉山羊同其他山羊均出自同一个祖先，而且假定选择未曾应用于这等性状，那么它们的发生必定是由于单纯的变异性以及限于性别的遗传性。

因此，把这个观点引伸到生活在自然状况下的动物的所有相似事例看来是合理的。尽管如此，我还不敢相信这可适用于一切情况，如雄鬣羊喉部和前腿异常发达的毛以及雄狐尾猴的巨大颔毛。根据我对自然界所能做的研究，我相信高度发达的部分或器官是在某一时期为着一种特殊目的而获得的。有些羚羊，其成年雄者的色彩比雌者的色彩表现得更为强烈，有些猴类，其面部的毛排列优雅，颜色殊异，那些其毛冠和毛簇就可能是作为装饰物而被获得的；据我所知，这正是有些博物学者的见解。如果这是正确的，则它

① 参阅我的《动物和植物在家养下的变异》第1卷中所载的这几种动物；还有第2卷，73页；以及第二十章中所载的有关半开化人实行选择的情况。关于伯布拉山羊，参阅格雷的《目录》，157页。

们是通过性选择而被获得的、至少是通过性选择而变异的，就很少疑问了；但这种观点对哺乳动物来说究竟能引伸到何等地步却很难说。

毛和裸皮的颜色

首先我要大致谈谈我所知道的有关雄四足兽的色彩不同于雌者的所有事例。关于有袋类，正如吉尔德先生告诉我的，其雌雄二者在这方面很少差异；但红色大袋鼠提供了一个显著的例外，“雌者呈现优雅蓝色的那些部分，在雄者则为红色”。① 卡宴②的负鼠雌者的颜色据说比雄者的稍红。关于啮齿类，葛雷博士说，“非洲松鼠，尤其是热带地方的松鼠，其毛皮在每年的某些季节透着鲜亮，而且其雄者的毛皮一般比雌者的更为鲜明”③。葛雷博士告诉我说，他之所以举出非洲松鼠为例，是因为它们异常鲜明的颜色最好地表示了这种差异。俄国巢鼠雌者的色泽比雄者的较浅而且较暗。大多数雄蝙蝠的皮毛比雌蝙蝠的鲜明④。关于这种动物，多布森博士说道：“其差异部分地或者完全地决定于雄者皮毛色彩远为鲜艳者，或以不同斑纹或以某些皮毛部分较长为区别者，在任何可以觉察的范围内，仅见于视觉发达良好的、以果实为食的蝙蝠。”这一叙述值得注意，因为它同鲜明颜色是否由于是装饰性的而对雄性动物有所帮助这一问题有关。关于树懒的一个属，葛雷博士说，现已

① 关于岩大袋鼠（*Osphranter rufus*），古尔德，《澳大利亚哺乳动物》(Mammals of Australia)，1863 年，第 2 卷。关于负鼠，德马雷，《哺乳动物学》，256 页。

② 为圭亚那的一处地方。——译注

③ 《博物学年刊杂志》，1867 年 11 月，325 页。关于巢鼠，德马雷，《哺乳动物学》，304 页。

④ 艾伦，《剑桥大学有袋类比较动物学学报》，美国版，1869 年，207 页。多布森博士关于翼手目性征的文章，见《动物学会会报》，1873 年，241 页。葛雷博士关于树懒的文章，同上杂志，1871 年，436 页。

证实“其雄者在装饰上和雌者有所不同——这就是说，雄者在两肩之间生有一片柔软的短毛，一般或多或少地呈橘黄色，有一个物种则呈白色。相反地，雌者却缺少这种标志。”

陆栖的食肉类和食虫类很少表现任何种类的性差异，包括体色在内。然而豹猫是一个例外，其雌者的颜色如同雄者相比，“不及后者鲜明，而且雌者的灰褐色部分较暗，白色部分较不纯，斑纹较狭，斑点较小。”① 同豹猫亲缘相近的线斑猫，其雌雄二者也有差异，但程度较轻；雌者的一般颜色比雄者的颇淡，而且斑点的黑色也较差。另一方面，海栖食肉类或海豹类有时在颜色上的差异相当大，正如我们已经看到的，它们还有其他显著的性差异。例如南半球的褐海狗，其雄者的体部上面呈浓艳的褐色；而雌者的体部上面则呈暗灰色，不过雌者获得其成年的色泽比雄者为早，雌雄二者的幼仔均呈深巧克力色。格陵兰海豹的雄者呈茶灰色，在背部有一块奇特的马鞍形暗色斑纹；其雌者的身材要小得多，并且具有很不相同的外貌，“呈暗淡的白色或草黄色，背部则呈茶色”；“幼仔最初是纯白色的，同冰丘和雪几乎无法区别，这样它们的颜色便起着保护作用。”②

反刍类在颜色方面的性差异比在其他目中更常常发生。条纹羚羊的这种差异是普遍的，例如雄大羚羊呈青灰色，远比雌者的颜色为深，而且喉部有一个正方形白色斑块，蹄后上部丛毛有白色斑纹，双耳有黑色斑点，所有这些都比雌者的显著。我们已经看到，这个物种的毛冠和毛丛同样地在雄者方面比在无角的雌者方面更为发达。布莱思先生告诉我说，其雄者不换毛，而定期地在繁育期间其毛色变得较深。在出生后一年以内的雄者和雌者并无差别；如果

① 德马雷，《哺乳动物学》，1820年，220页。关于线斑猫，伦格尔，同前书，194页。

② 默里博士关于海狗的文章，见《动物学会会报》，1869年，108页。布朗先生关于格陵兰海豹的文章，同上杂志，1868年，417页。关于海豹的颜色，再参阅德斯玛列司特的文章，同上杂志，243、249页。

在此时期对雄者进行去势，按照这位权威的材料，它的颜色就永远不会改变。这个事实是重要的，它可以证明大羚羊的颜色来源于性别，当我们听到[①] 弗吉尼亚鹿的红色夏毛和青色冬毛完全不受去势影响时，这个事实的重要性就显而易见了。林羚属的大多数或全部高度装饰的物种，其雄者的颜色都比无角雌者的为深，而且其毛冠也更加充分发达。华丽的德比大角斑羚，其雄者比雌者的体部较红，整个颈部较黑，间隔这两种颜色的白色带斑较宽。好望角大角斑羚，其雄者也比雌者的颜色稍深[②]。

公印度黑羚属于羚羊的另一个族，其雄者的颜色很暗，几乎是黑色的；而无角的雌者则呈浅黄褐色。布莱思先生告诉我说，关于这个物种，我们遇到了一系列同大羚羊完全相似的事实，即：其雄者定期地在繁育季节改变颜色，去势对这种颜色改变的影响，雌雄二者的幼仔彼此无法区别。另一种印度黑羚的雄者是黑色的，而雌者以及雌雄二者的幼仔都是褐色的；水草地印度羚的雄者比无角雌者的颜色要鲜明得多，而且前者的胸部和腹部的黑色也较深；卡玛印度羚的雄者，其身体各个部位的块斑和条纹都是黑色的，而在雌者方面这些则是褐色的；斑纹角马的雄者的颜色“几乎同雌者的颜色一样，只是较深而且较鲜明而已”[③]。还可举出一些相似的事例。

马来群岛的公爪哇牛几乎是黑色的，四腿和臀部则呈白色；母

---

① 卡顿，《渥太华自然科学院院报》，1868 年，4 页。

② 格雷博士，《大英博物馆哺乳动物目录》，第 3 部分，1852 年，134—142 页；再参阅格雷博士的《诺斯雷动物园访问记》，该书载有一张漂亮的德比大角斑羚的图；参阅该书有关羚属的章节。关于好望角大角斑羚（*Orea canna*），参阅安德鲁·史密斯的《南非动物学》，41、42 页。在伦敦动物园中也有许多这等羚羊。

③ 关于黑印度羚（*Ant. niger*），参阅《动物学会会报》，1850 年，133 页。有一个亲缘近似的物种，在体色方面有同等的性差异，参阅贝克爵士的《阿伯特·尼安萨》（Albert Nyanza），1866 年，第 2 卷，627 页。关于水草地印度羚，格雷，《大英博物馆哺乳动物目录》，100 页。德马雷，《哺乳动物学》，468 页，关于卡玛印度羚。安德鲁·史密斯，《南非动物学》，关于角马。

牛具有鲜明的暗褐色，牛犊在三岁之前也如是，此后便迅速改变颜色。去势的公牛则重现母牛的颜色。母克马斯山羊的颜色较浅，据说这些雌者们以及母喜马拉雅野山羊均较其雄者的颜色更为均匀。鹿的颜色很少呈现任何性差异。然而卡顿告诉我说，雄美洲赤鹿的颈部、腹部以及四腿的颜色均远比雌者的为深；但在冬季这种较深的颜色即逐渐褪去以至消失。我在这里可以提一下凯顿的园囿，那里有弗吉尼亚鹿的三个族，其体色彼此稍有差异，但这种差异几乎完全限于青色的冬季毛皮，即繁育时期的毛皮；所以这个例子可以同前章所说的鸟类的亲缘密切近似种，即代表种相比拟，它们的羽衣只在繁育时期才呈现差异①。关于南美沼地鹿的雌者以及雌雄幼鹿在鼻部不具黑色条纹，在胸部不具黑褐色线纹，而这些却都是成年雄者的特征②。最后，正如布莱思先生告诉我的，颜色美丽和具有斑点的南亚斑鹿的成熟雄者在体色方面比雌者深得多，但去势后的雄者永远不会获得这种颜色。

我们需要讨论的最后一个目为灵长目。黑狐猴的雄者一般呈煤黑色，而雌者呈褐色③。在新世界的四手目中，卡拉亚吼猴的雌者和幼者均呈灰黄色，而且彼此相似；当两岁时，雄性幼者变为红褐色；三岁时，除去腹部外均呈黑色，而到四岁或五岁时，腹部也变得十分黑了。赤吼猴和白喉卷尾猴雌雄之间差异也非常显著；前一个物种，我相信还有后一个物种的幼者均同雌者相似。白头僧面猴的幼者也是同雌者相似的，其上部呈黑褐色，下部呈锈红色。蛛猴

① 《渥太华自然科学院院报》，1858年5月21日，3、5页。

② S.米勒，关于爪哇牛，《马来群岛动物志》(Zoog. Indischen Archipel.)1839—1844年，35彩色图；再参阅拉弗尔斯(Raffles)的文章，布赖茨先生引用，见《陆和水》，1867年，476页。关于山羊，格雷博士，《大英博物馆目录》，146页；德马雷，《哺乳动物学》，482页。关于南美沼地鹿，伦格尔，同前书，345页。

③ 斯克莱特，《动物学会会报》，1866年，1页。M.M.波伦和范达姆(van Dam)也充分肯定了同一事实。再参阅格雷博士的文章，《博物学年刊杂志》，1871年5月，340页。

面部周围的毛丛在雄者呈黄色，在雌者则呈白色。再来看看旧大陆的情况：白眉长臂猿的雄者除去眉的上方有一条白色带斑外，通身都是黑色的，而雌者则由白褐色到杂以黑色的暗色，但决没有完全黑色的①。关于美丽的白须长尾猴其成年雄者的头部呈深黑色，而雌者的头部则呈暗灰色；前者大腿之间的皮毛为优雅的浅黄褐色，而后者的这一部分的颜色则较淡。关于美丽而稀有的髭长尾猴，雌雄之间的唯一差异为雄者的尾巴呈栗色，而雌者的尾巴则呈灰色；但巴特利特先生告诉我说，当雄者到达成年时，其全身颜色都变得更为显著，而雌者则仍保持幼时的颜色。按照所罗门·米勒的彩色绘图，金黑瘦猴差不多是黑色的，而雌者则是淡褐色的。关于狗尾猴和灰绿长尾猴，其雄者身体的一部分呈最鲜艳的青色或绿色，同其臀部的鲜红色裸皮形成了显著的对照。

最后，在狒狒科中，阿比西尼亚鬣猴的成年雄者不仅在其巨大鬃毛方面同雌者有所差别，而且在毛和胼胝的颜色方面也和雌者稍有不同。山魈的雌者和幼者均比成年雄者的颜色较淡，而且比后者的绿色较浅。在整个哺乳动物纲中，没有一个成员像西非山魈的成年雄者那样颜色特殊的。其面部到成年时即变成优雅的青色，鼻梁和鼻尖则呈最鲜艳的红色。按照有些作者的材料，其面部还有苍白的条纹，而且部分地略现黑色，不过这等颜色似乎是变异的。其前额有一毛冠，而且在下巴上有黄须。“其股之上方及臀部大片裸皮呈极其强烈的红色，并杂以优雅的青色，这就使其颜色越发鲜艳活泼。”② 当西非山魈激动起来时，所有无毛部分的颜色都变得更

① 关于吼猴，伦格尔，同前书，14 页；布雷姆，《动物生活图解》，第 1 卷，96、107 页。关于悬猴，德马雷，《哺乳动物学》，75 页。关于长臂猿，《陆和水》，1867 年，135 页。关于瘦猴见 S. 米勒，《马来群岛动物志》，10 彩图。

② 热尔韦(Gervais)，《哺乳动物志》，1854 年，103 页，载有雄西非山魈的头骨图。再参阅德马雷的《哺乳动物学》，70 页。小圣伊莱尔和居维叶，《哺乳动物志》，1824 年，第 1 卷。

为鲜艳得多。有几位作者以最热烈的词句来描写这等灿烂的颜色，他们把这等颜色同最美丽的鸟类的颜色相比拟。另一个值得注意的特性是，当大犬齿充分发育时，在其双颊便形成了巨大的骨质突起，这骨质突起有纵向的深沟，在它上面的裸皮呈鲜艳的颜色，就像以上所叙述的那样(图 69)。在其雌者和雌雄幼者方面几乎看不见有这种骨质突起，无毛部分的颜色也远不及雄者那样鲜明，而且它们的面部差不多是黑色的，带有青的色调。然面成年雌者的鼻子到一定的时期却变成红色。

迄今所举的一切事例都表明雄者比雌者的颜色更为强烈或更为鲜明，而且雄者的颜色同雌雄幼者的都不相同。但是，就像某些少数鸟类那样，雌者的颜色比雄者的更为鲜明，恒河猴也是如此，其雌者尾部周围的裸皮面积甚大，呈一种鲜艳的胭脂红色，伦敦动物园的管理员向我确言，这种颜色定期地表现得更为鲜艳活泼，她的面部也是浅红的。另一方面，恒河猴的成年雄者以及幼者不论其臀部裸皮或而部一点也没有红色的痕迹。但是，根据有些记载看来，其雄者的确偶尔地或在某些季节表现有一些红色的痕迹。虽然他在装饰方面不及雌者，但是他的手较大，犬齿较长，颊须较发达，眉脊较突出，在这些方面他还是遵循雄者胜过雌者的普通规律。

有关哺乳动物雌雄二者之间的颜色差异，现在我已经举出我所知道的一切事例。有些这等差异可能是变异的结果，而这种变异只限于同一性别并向同一性别传递，并不因此获得任何利益，所以不借助于选择。关于我们的家养动物就有这样的事例，例如某些猫类的雄者是锈红色的，而其雌者却呈龟甲色。在自然界中也有近

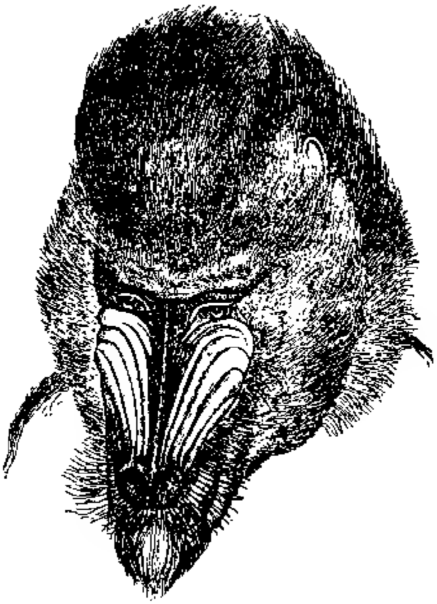


图 69 雄西非山魈(mandrill)的面部(引自热而韦的《哺乳动物志》)

似的例子：巴特利特先曾见到美洲豹、豹、袋貂①和毛鼻袋熊②的许多变种是黑色的，他肯定所有或者几乎所有这等动物都是雄性的。另一方面，狼、狐而且显然还有美洲松鼠，其雌雄二者偶尔生下来

① 即 *Phalangista vulpina*，属食果有袋类，形似松鼠，体长约 1.5 尺，尾长 1 尺许，每产一二仔，幼仔渐长，离去育儿囊，尚负于母背上，产于澳大利亚。——译注

② 即 *Phascolomys wombat*，属啮齿有袋类。体肥大，长二三尺，四肢粗短而强壮，皆有五趾。后肢除第二趾皆有长曲之爪，以爪掘穴而居。食木根及草等，故其齿列颇似啮齿类。——译注

就是黑色的。因此，十分可能的是，某些哺乳动物的雌雄二者在颜色上的差异，并不借助于选择，而单纯地为一种或一种以上变异的结果，且这等变异的传递从一开始就专限于某一性别。尽管如此，某些四足兽、例如上述猿猴类和羚羊类的各种各样的、鲜艳的和对照鲜明的色彩还是不可能因此得到解释。我们应该记住，这等颜色并不是在雄者降生时出现的，而仅仅是在成熟期或接近成熟期才出现的；而且这和普通变异有所不同，如果对雄者施行去势，这等颜色就消失了。总之，雄性四足兽的强烈显著的颜色以及其他装饰性状，在它们同其他雄者竞争时大概是有利的，因而是通过性选择而获得的。根据上述各点可以推断，这一观点由于以下的情况而被加强，即：雌雄二者在颜色上的差异几乎完全是发生于表现有其他强烈显著第二性征的那些哺乳动物类群或亚类群；这等第二性征也是性选择的结果。

四足兽对颜色显然是注意的。贝克爵士屡屡见到非洲的象和犀特别愤怒地对白色或灰色的马进行攻击。我在他处曾阐明①，半野生的马显然喜爱那些颜色和自己相同的马，颜色不同的黇鹿群，虽在一起生活，却长期保持界限分明。还有一项更有意义的事实：一匹母斑马不接受一匹公驴的追求，可是当把这匹驴涂饰成斑马的模样时，正如约翰·亨特所说的，“母斑马就欣然同意那匹公驴了”。“从这一奇妙的事实，我们看到了仅仅由颜色所激发起来的本能，这一本能的作用如此之强，以致胜过了任何其他本能。但雄者并不需要这种本能，只要雌者同他自己的颜色稍为相似，就足以使他激动起来。”②

在以前的一章我们曾看到，高等动物的心理能力同人类的、尤其是同低等野蛮种族的相应能力，虽在程度上有重大差别，但在性

① 《动物和植物在家养下的变异》，1858年，第2卷，102、103页。
② 《亨特的论文及其观察材料》，欧文编，1861年，第1卷，194页。

质上并无不同；看来甚至人类的审美感同四手目的审美感也没有广泛的差异。非洲黑人把面部肌肉弄成平行的隆起条纹，"即疤痕，高出颜面的本来表面，这种丑陋的毁形却被视为个人容貌的巨大魅力"①；世界许多地方的黑人和未开化人在他们的面部画上红的、青的、白的和黑的带斑；与此相似，西非狒狒也获得了它们的具有深刻凹痕和色彩炫绚的面部，以吸引雌者。毫无疑问，臀部的颜色为了装饰之故甚至比面部更为鲜艳，但这比许多鸟类尾羽具有特别装饰，并不会使人感到更为奇怪。

关于哺乳动物，目前我们还没有掌握任何证据可以证明雄者尽力在雌者面前夸示其魅力；而雄鸟和其他雄性动物以其精心设计的方式来进行这样的表演，乃是最强有力的论点来支持如下的信念：雌者赞赏在其面前展示的装饰物和颜色，或受到这等装饰物和颜色的刺激而兴奋起来。可是哺乳类和鸟类在它们的一切第二性征方面还是有显著的平行现象，即，在它们所具有的同其雄性对手进行争斗的武器方面，在它们所具有的装饰性附器方面，在它们的颜色方面，均有平行现象。在这两个纲的动物中，如果雄者和雌者有所不同，其幼仔却几乎总是彼此相似，而且在大多数场合中，也同成年的雌者相似。在这两个纲的动物中，雄者在繁殖龄期不久之前会表现出这一性别所特有的性状；如果在早期施行去势，这等性状就要消失。在这两个纲的动物中，颜色的改变时常是季节性的，而且无毛部分的色泽时常在求偶的行为中变得更为鲜艳活泼。在这两个纲的动物中，雄者几乎总是比雌者的颜色更为鲜艳活泼，或者更为强烈，而且雄者装饰有较大的冠毛或羽冠以及其他这类附器。在少数例外的场合中，这两个纲的雌者比雄者的装饰更为高级。有许多种哺乳动物，至少有一种鸟，其雄者比雌者所散发的香气为甚。在这两个纲的动物中，雄者比雌者的声音更加强有力。鉴

① 贝克爵士，《阿比尼西亚的尼罗河支流》，1867年。

于这种平行现象，毫无疑问，有一个同样的原因，不管它是什么，曾对哺乳类和鸟类发生作用；仅就装饰的性状来说，在我看来，其结果可以归因于某一性别的个体对异性某些个体长期连续的喜爱，而且结合着它们在遗留大量后代以继承其优越的魅力方面获得成功。

装饰性状对雌雄二者的同等传递

由类似之理推之，可信许多鸟类的装饰物最初是由雄者获得的，然后同等地或几乎同等地传递给雌雄二者；那么我们可以问，这一观点对哺乳动物究竟能应用到怎样程度。相当多的物种，尤其是较小的种类，其雌雄二者的颜色是为了保护自己而获得的，同性选择并无关系；但就我所能判断的来说，这样的事例不及在大多数较低等诸纲中那样多，而且其表现方式也不那样显著。奥杜邦说道，当麝鼠① 蹲在浑浊河流的岸边时，它常常误认它为一块泥土，其形酷似。山兔当跑向兔穴时凭借颜色而隐蔽起来的事例是众所周知的；但这一原理对一个亲缘密切近似的物种——家兔就部分地不适用了，因为当它跑向兔穴时，它那向上翻卷的白尾就会引起猎人、无疑也会引起一切猛兽的注意。谁都不会怀疑栖息在白雪覆盖地方的四足兽变为白色，乃是为了保护自己免受敌方的危害，或者有利于它们潜近所要捕食的动物。在容易化雪的地方，白色的毛皮将会有害；因而在世界较热的部分，白色物种是极其罕见的。值得注意的是，栖息在不甚寒冷地方的许多四足兽虽然没有白色的冬季毛皮，但在这一季节其毛皮颜色却变得较淡；显然这是它们长

① 关于麝鼠，奥杜邦和贝奇曼，《北美的四足兽》(The Quadrupeds of N. America)，1846年，109页。

期暴露于其中的外界条件所造成的直接结果。帕拉斯述说[1]，在西伯利亚，狼、鼬属的两个物种，家马、野驴、家牛、印度羚的两个物种，麝、麅、(roe)、驼鹿、驯鹿都会发生这种性质的颜色变化。例如麅其夏季皮毛是红色的，而冬季皮毛则是灰白色的，当这种动物漫游于那些点缀着白雪和严霜的无叶灌木丛中时，那种灰白色对它们也许可以起一种保护作用。如果上述动物扩展其栖息范围而达到永久覆盖冰雪的地方，那么通过自然选择它们的淡色冬季皮毛大概会变得愈来愈白，直到白得似雪为止。

瑞克斯先生给我的一个奇妙事例表明，一种动物由于具有独特颜色而得到了利益。他在一个有围墙大园内养了约 60 只褐白杂色的家兔；同时在他的家里还养着一些同样颜色的猫。正如我常常注意到的那样，这种猫在日间是很显眼的，但它们惯于在黄昏时刻卧守于兔穴之口，而那些家兔显然不能把它们同其杂色弟兄分别开来。其结果便是，一只只这样杂色的家兔在 18 个月内全被灭绝；而且有证据表明这都是那些猫干的。颜色对另一种动物——臭鼬似乎也是有助益的，其方式正如其他动物纲中许多事例所表现的那样。当这种动物激怒时，便会散发出可怕的气味，所以没有一种动物会自愿地攻击它；但在黄昏时就不容易把它辨识出来，因而可能受到猛兽的攻击。这样，正如贝尔特先生[2] 所相信的那样，臭鼬便有一条白色的蓬松大尾巴，作为一种容易引起注意的警告。

虽然我们必须承认许多四足兽获得它们现在那样的颜色，或是为了保护自己，或是为了有助于捕食其他动物，但是，还有大量的物种，其色彩太显眼了，而且颜色的排列也太奇特了，以致不能允许我们去设想它们可用于这等目的。我们可以用某些羚羊的情

---

① 《关于四足兽的新种》，1778 年，7 页。我所谓的麅(roe)就是帕拉斯命名的 *Capreolus sibiricus subecaudatus*。

② 《博物学者在尼加拉瓜》，249 页。

况来做例证；当我们看到喉部的正方形白色块斑、蹄部后上方丛毛的白色标志以及双耳的黑色圆形点斑，在大羚羊的雄者方面均比在其雌者方面更为明显；——当我们看到德比大角斑羚的雄者比雌者的颜色更为鲜艳活泼，而且肋部的狭白线和肩部的宽白斑更为明显；——当我们看到具有奇妙装饰的一种林羚（图 70）雌雄二

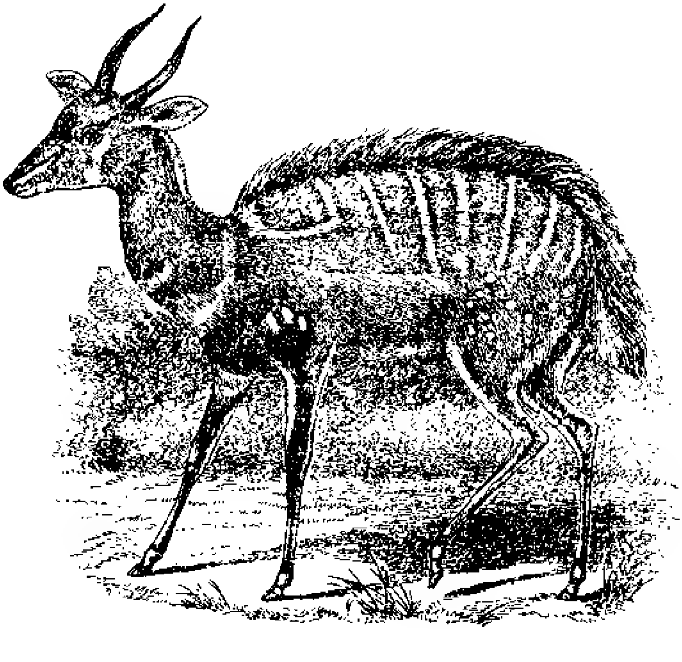


图 70 林羚（*Tragelaphus seriptus*）的雄者
（引自诺斯雷动物园，Knowsley Menagerie）

者之间的相似差异，——我们无法相信这种种差异对雌雄任何一方在其日常生活习性方面有什么用处。更可能的结论似乎是：这各种不同的斑纹最初是由雄者获得的，其颜色通过性选择而被加强，然后部分地传递给雌者。如果承认这一观点，毫无疑问的是，许多其他羚羊的同等奇特的颜色和斑纹，虽为雌雄双方所共有，却是按照同样的方式而被获得和传递的。例如，南非捻角羚羊（图 64）雌雄二者在其后肋均有狭窄的垂直白线，而且在其前额均有优雅的角形白色斑纹。南非达玛利斯羚属雌雄二者的颜色都很奇特；白臀达玛利斯羚的背部和颈部呈紫白色，到两肋逐渐变为黑色；这等颜色同其白腹和臀部的一大块白斑截然分明；其头部的颜色还更奇特，有一块镶着黑边的椭圆形白斑遮盖面部直达双眼（图 71），在前额还有三条白纹，双耳也有白色的标志。这个物种的幼羚通身均呈淡黄褐色。白耳达玛利斯羚的头部同前一个物的头部有所不同，前者头部只有一条白纹，而不是三条，并且它的双耳几乎完全是白的。[①]在我尽力研究了所有各纲动物的性差异之后，我不能不做出如下结论：许多羚羊的排列奇妙的颜色，虽为雌雄双方所共有，却是最初应用于雄者的性选择之结果。

同一结论也许可以引伸到虎，这是世界上最美丽的动物，但其雌雄二者无法从颜色方面加以区别，即使野兽商人也不能做到这一点。华莱士先生相信[②]，虎的条纹皮毛"同竹子的挺直茎干如此谐调一致，以致可以帮助它们隐蔽起来去接近所要捕食的动物。"但是，在我看来，这一观点恐难令人满意。我们有某种微小的证据可以证明虎的颜色可能是由性选择所致，因为猫属有两个物种，其彼此相似的斑纹和颜色在雄者方面均比在雌者方面更为鲜明。斑

① 参阅史密斯《南非动物学》及格雷博士的《诺斯雷动物园访问记》二书中的精美图版。

② 《威斯敏斯特评论》，1867 年 7 月 1 日，5 页。

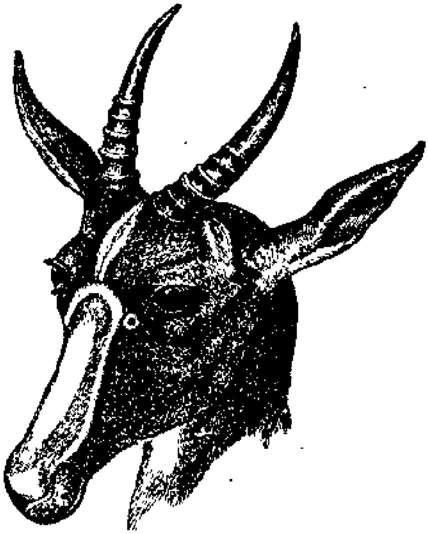


图 71 白臀南非达玛利斯羚（*Damalis pygarga*），雄者（采自诺斯雷动物园）

马的条纹是容易引起注目的，而且在开阔的南非平原上这等条纹不能提供任何保护。伯切尔[①] 在描述斑马群时说道，“它们柔滑发亮的肋部在日光中闪耀，它们鲜明的、整齐的条纹皮毛呈现了一幅非常美丽的图画，大概没有任何四足兽可以胜过它们。”但在整个马科中，雌雄二者的颜色是完全一致的，所以在这里我们还没有掌握性选择的证据。尽管如此，这位曾把各种羚羊肋部的白色和暗色垂直条纹归因于性选择作用的人，大概还会把同样的观点引伸到兽中之王——虎以及美丽斑马的。

① 《南非游记》，1824年，第2卷，315页。

我们在前一章已经看到，属于任何纲的幼小动物所遵循的生活习性如果同其双亲的生活习性差不多相同，但其颜色却有差异，那么可以推论这等幼小动物保持了某一绝灭了的古老祖先的颜色。在猪族以及貘族中，幼仔具有纵条纹，这同这两个类群的一切现存的成年物种均有差异。许多种类的幼鹿具有优雅的白色斑点，而其双亲却一点没有表现这种痕迹。从斑鹿——其雌雄二者在一切年龄和一切季节都具有美丽斑点(雄者比雌者的颜色更强烈)，到无论老鹿和幼鹿均不具有斑点的物种可以找出一条逐渐的系列。我将举出这个系列中的一些等级。满洲鹿全年均具白色斑点，但我在伦敦动物园里看到，在夏季其斑点就比在冬季淡得多，其一般的夏季皮毛颜色也较淡，而一般的冬季皮毛颜色就较深，而且双角也充分发达。豚鹿的斑点在夏季极其显著，那时它的皮毛呈赤褐色①。但在冬季它的斑点就完全消失，那时它的皮毛则呈褐色。这两个物种的幼鹿均具斑点。幼弗吉尼亚鹿同样也有斑点，凯顿告诉我说，在他的园囿中约有5%的这种成年鹿当红色夏季皮毛由带蓝色的冬季皮毛所代替时，在其双肋便暂时地各现一行斑点，这两行斑点的清晰度虽有变异，但其数目却永远是一样的。从这种状态到成年鹿在一切季节中均不具斑点者，相距不过很小的一步；最后则到达在一切年龄和一切季节中均不具有斑点的状态，有如某些物种所发生的那样。根据这一完整系列的存在，尤其是根据如此众多物种的幼鹿均具斑点，我们便可断言鹿科现存的成员乃是某一古代物种的后裔，这个物种就像轴鹿那样地在一切年龄和一切季节中均具斑点。它们更早的一个古代祖先大概同西非鹿多少相似，因为这种动物具有斑点，而且无角雄者具有可以发挥作用的大形犬齿，现在还有少数真正的鹿保持着犬齿残迹。西非鹿也是一个类

① 格雷博士，《诺斯雷动物园访问记》，64页。布赖茨在谈到锡兰豚鹿(hog deer)时说道，在换角季节它的白色斑点比普通猪鹿的白色斑点更为鲜明。

型把两个类群连结在一起的有趣事例之一，因为它在某些骨骼性状上介乎厚皮类和反刍类之间，而以前却认为这两类动物是截然不同的①。

于是在这里产生了一个奇难的问题。如果我们承认有色的斑点最初是作为装饰物而被获得的，那么如此众多的现存鹿——本来具有斑点的动物之后裔以及猪和貘的所有物种——本来具有条纹的动物之后裔，怎么会在成熟状况下失去了其以往的装饰物？我还不能令人满意地回答这个问题。我们几乎可以肯定的是，现存物种的祖先在成熟期或接近成熟期失去了斑点和条纹，所以幼仔依然保持着它们；而且，由于在相应年龄遗传的法则，这等斑点和条纹传递给此后各代的幼仔。由于狮和美洲狮的生息地是开阔的，所以条纹的消失可能对它们有重大利益，这样便可不易为猎物所见；如果达到了这一目的的连续变异发生于生命的较晚时期，那么幼仔大概还会保持其条纹，现在的情况正是如此。弗里茨·米勒向我提出，关于鹿、猪和貘，通过自然选择而去掉其斑点或条纹，它们大概就不易被敌者所见；并且食肉动物在第三纪体格增大，数量增多的时候，它们大概特需要这种保护。这也许是正确的解释，但幼仔没有受到这样的保护就颇为奇怪了，而且更加奇怪的是，有些物种的成年动物却在每年的一部分时期局部地或者完全地保持了它们的斑点。我们知道，当家驴发生变异并且变为赤褐色、灰色或黑色时，其肩部，甚至脊部的条纹常常消失，虽然我们还不能说明其原因。在身体任何部分均具条纹的马，除暗褐色者以外，为数很少，然而我们有良好的理由可以相信原始马在其腿部、脊部，大概也在肩部均具条纹②。因此，在现存的成年的鹿、猪和貘中，其斑点和条纹

① 福尔克纳（Falconer）和考特雷（Cautley），《地质学会会报》（*Proc. Geolog. Soc.*），1843年；以及法克纳的《古生物学论文集》（*Pal. Memoirs*），第1卷，196页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，1868年，第1卷，61—64页。

的消失可能是由于一般的皮毛颜色发生了变化；但这种变化究竟是由于性选择或自然选择的作用，还是由于生活条件的直接作用，抑或由于某种其他未知的原因，还不可能决定。斯克莱特先生所做的一个观察很好地示明了我们对于那些支配条纹的出现和消失的法则乃一无所知；栖息在亚洲大陆的驴属一些物种均不具条纹，甚至连肩部的横条纹也没有，而栖息在非洲的那些物种则具有显著的条纹，但纹驴这个物种是一个局部的例外，它只有肩部横条纹，一般在腿部还有一些模糊不清的带斑；这个物种所栖息的地带几乎介于上埃及和阿比西尼亚之间①

四手类

当做出结论之前，先稍微谈一谈猿猴类的装饰物将是有益的。在大多数物种中，其雌雄二者在颜色方面彼此相似，但在某些物种中，就像我们已经看到的那样，雄者同雌者有所差异，尤其是在皮肤无毛部分的颜色方面，在颔毛、颊须和鬃毛方面更加如此。许多物种的颜色如此特殊或者如此美丽，而且具有如此奇妙而漂亮的冠毛，以致我们不能不把这等性状的获得视为用作装饰。附图(图72至图76)示明几个物种的面毛和头毛的排列情形。要说这等冠毛以及毛和皮的对照强烈的颜色仅仅是变异的结果，而没有选择作用的帮助，几乎是不可想象的；而且，要说这等性状在任何日常生活方面对这等动物有什么用处也是不可想象的。如果这样说法不错，那么这等性状大概是通过性选择而获得的，虽然它们同等地或者几乎同等地传递给了雌雄双方。关于许多四手类动物，我们还有另外的证据可以证明性选择在以下各方面的作用：如雄者比雌

① 《动物学会会报》，1862年，164页。再参阅哈特曼(Hartmann)的文章，见《农业年鉴》(Ann. d. landw.)，第43册，222页。

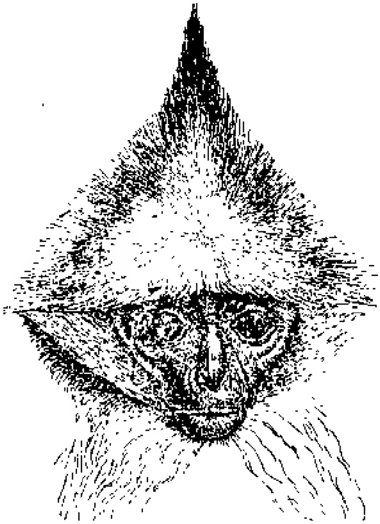


图 72 赤瘦猴(*Semnopithecus rubicundus*)。本图及以下各图(引自热尔韦)示明头毛奇特的排列和发育。

者的体格较大,体力较强而且犬齿较发达。

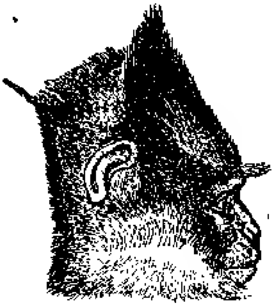


图 73　怒发瘦猴(*Semnopithecus comatus*)的头部

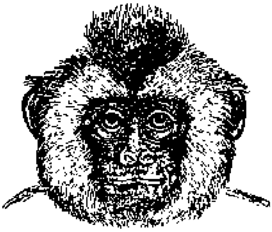


图 74　白喉卷尾猴(*Cebus capucinus*)的头部

图 75　蛛猴(*Ateles marginatus*)的头部

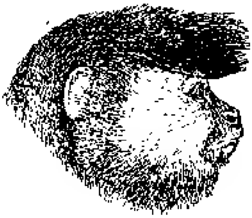


图 76　长毛卷尾猴(*Cebus vellerosus*)的头部

举出少数事例就足以说明有些物种雌雄二者的奇异颜色以及其他物种的美丽。长尾猴(图 77)的面部是黑色的,颊须和颔毛是白色的,它的鼻部具有一个界限分明的圆形白色斑点,其上蔽以白色短毛,使得这种动物的外貌差不多是滑稽可笑的。额斑猴的面部

也是稍带黑色的，而且还有黑色的长颌毛，在其青白色前额上有一个无毛的大斑点。多毛狨猴的面部呈不鲜明的肉色，而且在其双颊各有一个界限分明红色斑点。埃及南部白眉猿的外貌是滑稽可笑的，它具有黑色的面部、白色的颊须和颈毛以及栗色的头部，在两个眼睑上各有一个无毛的大形白色斑点。很多物种的颌毛、颊须以及面部周围的冠毛同其余头部的颜色是不同的，如果不同，它们的色泽总较淡[①]，常常是白色的，有时是亮黄的或者是微红的。南美短尾猴的整个面部均呈灿烂的猩红色，但不到这种动物接近成熟时，不会出现这种颜色。[②]各个不同物种的面部裸皮在颜色上差异非常之大。它常常呈褐色或肉色，局部呈白色，而且也常常呈黑色。秃顶猴的猩红色面部比含羞的高加索少女的面部更为鲜艳。有的面部呈橘黄色，比任何蒙古人的面部黄色更加明显，有几个物种的面部呈青色，亦有呈紫罗兰色或灰色者。在巴特利特先生所知道的一切物种中；凡是成年雌雄二者的面部呈浓色时，在其早年的幼小时期，这等颜色则是暗淡的，或竟不具颜色。西非狒狒和恒河猴的情况也是如此，其面部和臀部具有鲜艳颜色者只是雌雄中的一方。在后述这等场合中，我们有理由相信这等颜色是通过性选择而获得的；我们自然地便被引导把同样的观点引伸到上述物种，虽然其雌雄二者在成年时的面部具有同样的颜色。

虽然许多种类的猴按照我们的趣味来看，远远不是美丽的，但另外有些物种由于它们的漂亮外貌和鲜艳颜色普遍地受到了称赞。眉线瘦猴的颜色虽然奇特，却被描写得非常之美；其橘黄色面部绕以具有光泽的白色长颊须，在双眉之上各有一条栗红色的线；背部皮毛呈雅致的灰色，腰部各有一块方斑，尾部和前臂是纯白

① 我在伦敦动物园曾见过这种情况，在小圣伊莱尔和居维叶的《哺乳动物志》的彩色图版中也可看到许多这种情形。

② 贝茨，《亚马孙河流域的博物学家》，1863年，第2卷，310页。

图 77　长尾猴(*Cercopithecus petaurista*,采自布雷姆)

的;胸部覆盖着栗色的皮毛;大腿为黑色,小腿为栗红色。我只再谈一谈另外两种猴的美;我之所以选用它们是因为它们在颜色方面表现了轻微的性差异,这就在某种程度上可能说明其雌雄二者的

漂亮外貌是由于性选择所致。髭猴皮毛的一般颜色为带有斑驳的微绿色，喉部为白色；其雄者的尾端为栗色，但其面部则系最富装饰的部分，面皮主要呈微带青色的灰色，至双眼下方逐渐变为微黑色，上唇呈优雅的青色，下唇边有一条稀疏的黑髭，颊须为橘黄色，其上部则呈黑色，向后延伸到双耳，形成一条带形物，双耳则复被着微白色的毛。在动物学会的动物园里，我常常无意中听到游客们赞美另一种猴，它可以名符其实地称为白须长尾猴（图 78）；其皮毛的一般颜色为灰色；胸部和前腿内面呈白色；背的后部有一个界限分明的大三角形斑，呈鲜艳的栗色；雄者大腿的内面及其腹部为优雅的浅黄褐色，而且头顶呈黑色；面部和双耳为浓黑色；同其双眉上方的横向从毛和白色长颔毛形成了优美的对照，颔毛的基部则呈黑色①。

在这等猴以及许多其他猴中，其颜色之美及其奇特的排列，尤其是头部冠毛以及簇毛的各式各样的优雅排列，迫使我不得不相信这等性状完全是作为装饰物，通过性选择而获得的。

提　要

为了占有雌者而进行战斗的这一法则，看来是通行于整个的哺乳纲的。大多数博物学者们都承认雄性动物的较大的体格、体力、勇气以及好斗性，它特有进攻武器以及特有的防御手段，都是通过我称为性选择的那种方式面获得或变来的。这并不决定于一般生存竞争中的任何优越性，面是决定于某一性别的某些个体，一般是雄者的某些个体成功地战胜其他雄者，并比较不成功的雄者留下较大数量的、遗传其优越性的后代。

① 我在动物学会的动物园中曾见到大部分上述猴类。关于眉线瘦猴的描述系引自马丁的《哺乳动物志》，1841 年，460 页；再参阅 475、523 页。

图 78 白须长尾猴(*Gereopithecus diana*)(引自布雷姆)

还有另一种比较和平的竞争，在这种竞争中雄者尽力以各种不同的魅力去刺激或引诱雌者。在某些场合中这种竞争大概是由雄者在繁殖季节散发出强烈的气味来进行的；散发气味的腺体是通过性选择而获得的。与此相同的观点是否可以引伸到声音，尚有疑问，因为雄者发音器官的加强，一定是由于雄者在成熟时期受到了爱情、嫉妒或愤怒的强烈刺激而使用这等器官的缘故，因而这种

特性只向雄者传递。各种不同的冠毛、簇毛和鬃毛或者仅限于雄者所有，或者在雄者方面比在雌者方面更为发达，它们在大多数场合中似乎仅仅是为了装饰，虽然有时也用于防御雄性竞争对手。甚至有理由来设想公鹿的枝角以及某些羚羊的漂亮双角，虽然用作进攻的或防御的武器，大概也是部分地为了装饰而发生变异的。

当雄者在颜色上不同于雌者时，雄者的色泽一般表现得较深而且对照较强烈。在哺乳纲中我们所看到的华丽的红色、青色、黄色和绿色并不像在雄性鸟类和许多其他动物中那样普遍。无论如何，某些四手类动物的无毛部分必须除外，因为这等部分的位置往往是奇特的，而且在某些物种中，其颜色是鲜艳的。在其他场合中，雄者的颜色可能是单纯地由于变异，而不借选择之助。但是，如果其颜色是丰富多采而且强烈显著的，如果它们不接近成熟时不会发展，而且，如果它们在去势以后就会消失，那么我们简直不得不做出如下结论：它们是为了装饰通过性选择而获得的，而且完全地或者几乎完全地只向同一性别传递。如果雌雄二者具有同样的颜色，而且这等颜色是显著的或者排列奇妙的，却一点没有作为保护的明显用途，尤其是如果它们和各种不同的其他装饰性附器结合在一起，那么我们便可用类推方法做出同样的结论，即：它们是通过性选择而获得的，虽然它们是向雌雄双方传递的。显著而丰富多采的颜色，不论是仅限于雄者所有或为雌雄二者所共有，按照一般规律，在同一类群或同一亚类群中都是和用于战争或装饰的其他第二性征结合在一起的，如果我们回顾一下本章和上章中所举的各种不同事例，便可知道情况确系如此。

向雌雄双方同等传递性状的法则，仅就体色和其他装饰物而言，通行于哺乳类远比通行于鸟类更加广泛；但是，诸如角、獠牙那样的武器往往专向雄者传递，或者传递给雄者远比传递给雌者更加完全。这是使人惊奇的，因为雄者使用其武器来防御一切种类的敌对者，所以这等武器对于雌者大概也是有用的。仅就我们所能知

道的来看，雌者缺少这等武器只能根据通行的那种遗传形式才能得到解释。最后，在四足兽中同一性别的诸个体之间所进行的争斗，无论是和平的还是流血的，除了极罕见的例外，仅限于在雄者之间进行；所以雄者通过性选择发生变异者远比雌者更加普遍，无论是在彼此之间的争斗方面，还是在向异性进行引诱方面，均系如此。

第 三 部 分

人类的性选择及本书的结论

第十九章

人类的第二性征

男女之间的差异——这等差异以及男女双方所共有的某种性状的起因——战斗的法则——心理能力以及声音的差异——美貌对决定人类婚姻的影响——未开化人对装饰品的注重——未开化人对女性美的概念——对各个先天特性夸张的倾向

人类男女之间的差异大于大多数四手类的性差异，但不及某些四手类如西非山魈的性差异那么大。男人平均比女人高得多，重得多，而且力量大得多，前者的双肩较宽阔，肌肉也显著地更发达。由于肌肉的发达同眉部的向前突出存在着关联①，所以男人的眉脊一般高于女人的。男人的体部，尤其是面部具有更多的毛，而且他的音调不同，更加强有力。在某些种族中，据说女人的肤色同男人的稍有差异。例如，施魏因富特当谈到居住在北纬数度的非洲腹地的蒙博托族黑人妇女时说道，"她的皮肤比她丈夫的要淡几个色调，有点呈半炒咖啡色，所有她这个种族都是如此。"② 由于妇女在大田里劳动，而且不穿衣服，所以她们在肤色上同男人的差异不见得是由于暴露在日光中较少的缘故。欧洲妇女的肤色恐怕比男人的较鲜明，当男女双方同等地暴露在日光中时即可明了这一点。

---

① 沙夫豪森(Schaaffhausen)，译文见《人类学评论》，1868 年 10 月，419、420、427 页。

② 《非洲中心地带》(The Heart of Africa)，英译本，1873 年，第 1 卷，544 页。

男人比女人勇敢、好战、精力强，而且富有较高的发明禀赋。男人的脑绝对地大于女人的脑，但这是否同其较大的身体成比例，我相信还没有得到充分的肯定。女人的面部较圆；两颚和头骨基部较小；体部轮廓较圆，有些部位较突出；而且女人的骨盆比男人的宽阔①；她达到成熟的年龄比男人为早。

在所有各纲的动物中，雄性不到接近成熟时，其显著不同的性状不会充分发展，而且施行去势之后，这等性状即永不出现；在人类中亦复如此。例如，胡须是第二性征，男孩没有胡须，虽然在其幼小时头发很多。这大概由于在男人方面所发生的连续变异是在生命的很晚时期出现的，男人通过这等变异获得了男性特征，而这些特征只向男性传递。男孩和女孩彼此密切相似，就像如此众多的其他动物的雌雄幼仔彼此相似一样，在这些动物中其成年的雌雄二者却大有差别；同样地，男孩和女孩同成熟女人的相似远比同成熟男人的相似为甚。然而，女人最终总要呈现某种明确不同的性状，而且在其头骨的构造上据说是介于儿童和男人之间的②。再者，亲缘密切近似，但有所不同的物种，其幼仔之间的差异并不像成年动物之间的差异那样大，人类不同种族的儿童也是如此。有些人甚至主张从婴儿的头骨不能找出种族的差异③。关于肤色，新降生的黑人婴儿呈微红的栗色，很快就变为蓝灰色；在苏丹，婴儿到一岁时其皮肤黑色才充分发达，在埃及，不到三岁这种黑色不会充分发达。黑人的眼睛最初呈蓝色，毛发最初为褐色，而不是黑色，只在发端是卷曲的。澳大利亚人的儿童刚降生时呈黄褐色，但在以后的年龄中其肤色就变深了。巴拉圭的瓜拉尼族婴儿呈黄白色，但在几个星期后便获得了其双亲的黄褐色。在美洲的其他部分所作的观察

① 埃克(Ecker)译文见《人类学评论》，1868年10月，351—356页。男女头骨形状的比较，是由韦尔克(Welcker)非常仔细地做出的。

② 埃克和韦尔克，同前杂志，352、355页；沃格特《人类讲义》，英译本，81页。

③ 沙夫豪森，《人类学评论》，1868年10月，429页。

也相似。[①]。

我之所以列举上述人类男女之间的差异，是因为他们同四手类的情况异常相似。在四手类中，雌者的成熟年龄早于雄者的，至少巴拉圭卷尾猴肯定如此。[②] 大多数四手类物种的雄者比雌者身强力大，在这方面，大猩猩提供了一个众所周知的事例。甚至像非常微小的一种性状，如眉脊的突出，某些猿猴类的雄者也不同于雌者，[③] 这与人类的情况相符。在大猩猩以及某些其他猿猴类中，成年雄者的颅骨具有强烈显著的矢形突起，而雌者却没有这种突起；埃克尔发现澳洲人男女间也有与此相似的差异残迹[④]。在猿猴类中，如果在叫声方面存在任何差异，总是雄者的叫声更加强有力。我们已经看到，某些雄猴具有十分发达的胡须，而雌者却完全没有胡须，或者其胡须发育差得多。据知还没有一个事例表明雌猴的胡须、颊须和髭长于雄者的。甚至在胡须的颜色方面，人类和四手类之间也异常相似，人类的胡须如果同头发的颜色有所差异，正如通常所见到的那样，几乎总是胡须的颜色较淡，而且常常呈现微红色。我在英格兰曾反覆对此做过观察；但有两位先生最近给我写信说，他们是例外。其中一位先生说，其原因在于他家庭中父系和母系的发色迥然不同。此二人早已觉察到这一特点（其中一人常被指责把胡须染了），因而被引导去观察别人，他们终于相信这等例外是很罕见的。胡克博士在俄国为我注意观察过这个问题，发现没有

① 普鲁纳-拜（Pruner-Bey）论黑人的婴儿，沃格特引用，《人类讲义》，1864 年，189 页；关于黑人婴儿的另外事实，引自温特-博顿和坎普尔的著述，参阅劳伦斯的《生理学讲义》，1822 年，451 页。关于格拉尼族的婴儿，参阅伦格尔的《哺乳动物志》，3 页。再参阅戈德隆的《物种》，第 2 卷，1859 年，253 页。关于澳大利亚土人，参阅魏茨的《人类学概论》，英译本，1863 年，99 页。

② 伦格尔，《哺乳动物志》，1830 年，49 页。

③ 关于爪哇猴（*Macacus cynomolgus*），见德马雷的《哺乳动物学》，65 页；关于敏长臂猿，见小圣伊莱尔和居维叶的《哺乳动物志》，1824 年，第 1 卷，2 页。

④ 《人类学评论》，1868 年 10 月，353 页。

一个例外。在加尔各答，植物园的斯考特先生非常热心地为我观察了当地以及印度一些其他地方的许多种族，即：锡金的两个种族、波达人、印度人、缅甸人和中国人，大多数这些种族的面毛都很稀少；他总是发现，如果头发和胡须在颜色方面有任何差异的话，一定是胡须的颜色较淡。那么，关于猿猴类，如上所述，它们的胡须和头发在颜色上往往差异显著，在这等场合中，总是胡须的颜色较淡，常呈白色，有时呈黄色或微红色。①

就一般体毛而言，都是女人的毛比男人的毛较少；在少数某些四手类中，雌猴身体底面的毛比雄猴这一部分的毛为少②。最后，雄猴就像男人那样，比雌猴更勇敢而且更凶猛。它们领导猴群，遇有危险，则勇往直前。由此我们便可知道，人类和四手类的性差异是何等密切相似。然而，少数某些物种，如某些狒狒、猩猩以及大猩猩的性差异要比人类的大得多，犬齿的大小、毛的发达及其颜色，尤其是裸皮的颜色，都是如此。

人类的一切第二性征都是高度容易变异的，甚至在同一种族的范围内也是如此；自若干种族的第二性征则差别很大。这两条规律一般在整个动物界中都是适用的。在诺瓦拉船上所做的精密观察表明③，澳大利亚人的男子仅高于女子 65 毫米，而爪哇人的男

① 布莱思告诉我说，关于猴子的胡须和颊须在年老时变白，他只见过一个事例，但人类通常皆如是。在槛中饲养的一只老年爪哇猴的胡须变白，它的唇须"非常之长，同人类的相似"。这只老猴同欧洲的一个在位君主非常相似，竟以这个君主的名称作为这只猴子的绰号。人类某些种族的头发从不变成灰白色，例如福布斯告诉我说，他从未看见过南美的亚马拉人(Aymaras)和基切人(Quichuas)的头发变成灰色的。

② 这是关于长臂猿几个物种的雌者的例子，参阅小圣伊莱尔和居维叶的《哺乳动物志》，第 1 卷。关于白手长臂猿(*H. lar.*)，再参阅《佩尼百科词典》(Penny Cyclopedia)，第 2 卷，149、150 页。

③ 这个结果是由魏斯巴赫(Weisback)教授根据舍策尔(Scherzer)和施瓦茨(Schwartz)二位教授所作的测计推算出来的，参阅《诺瓦拉旅行记》、《人类学评论》，1867 年，216、231、234、236、239、269 页。

子却高于女子 218 毫米；因此，后一种族的男女身高之差高出澳大利亚人三倍以上。关于身长、颈围、胸围、脊骨长度以及双臂长度，在各个不同种族中进行了大量的精细测量；几乎所有这些测量结果都表明，男人彼此的差异要比女人的大得多。这一事实示明，仅就这等性状而言，自若干种族从其共同祖先分歧以来，主要发生变异的正是雄者。

不同种族的、甚至同一种族不同部落或家族的男人，在胡须以及体毛的发育方面均有显著差异。我们欧洲人看看自己就可知道这一点了。按照马丁的材料①，在圣基尔达岛，男人低于或略高于 30 岁不长胡须，甚至在这时候他们的胡须也很稀疏。在欧亚大陆，直到越过印度以西，各个种族男人的胡须都很旺盛；但锡兰土人却往往不长胡须，第奥多拉斯在古代已经注意到这一点②。印度以东的各个种族，如暹罗人、马来人、蒙古人、中国人以及日本人则胡须稀疏，尽管如此，在日本列岛最北方居住的虾夷人③ 却是世界上最多毛的人。非洲黑人甚少胡须或无胡须，而且具有颊须者也很少；男女双方的体部几乎连细毛也没有④。相反地，马来群岛的巴布亚人虽和黑人差不多一样黑，却有十分发达的胡须⑤。太平洋上斐济群岛的居民都有浓厚的大胡须，但其附近汤加群岛和萨摩亚群岛的居民就不长胡须；不过他们属于不同的种族。在埃利斯群岛，所有居民都属于同一种族，然而只有一个岛，即努内玛亚岛的"男人

① 《圣基尔塔航行记》(Voyage to St. Kilda)，第 3 版，1753 年，37 页。

② 坦南特爵士，《锡兰》(Ceylon)。

③ 卡特勒法热，《科学报告评论》，1868 年 8 月 29 日，630 页。沃格特，《人类讲义》，英译本，127 页。

④ 关于黑人的胡须，沃格特，《人类讲义》，127 页；魏茨，《人类学概论》，英译本，1863 年，第 1 卷，96 页。值得注意的是，美国的纯种黑人及其混血儿后代的体毛之多似乎同欧洲人差不多一样(见《关于美国士的军事学和人类学的统计之研究》，1869 年，569 页)。

⑤ 华莱士，《马来群岛》，第 2 卷，1869 年，178 页。

生有漂亮的胡须，而其余各岛男人的胡须照例也不过是十几根零乱的毛而已”。①

在整个美洲大陆上居住的土人可说都不长胡须，但几乎所有部落的男人都有在面部生长少数几根短毛的倾向，特别是老年人尤其如此。在北美的诸部落中，卡特林估计20个男人中就有18个生来就完全不长胡须；间或可以看到一个男人，如果在青春期忘拔胡须的话，也会有一两英寸长的柔软胡须。巴拉圭的格拉尼族和所有周围的部落不同，具有短胡须，甚至在体部也长些毛，但没有颊须②。福布斯先生特别注意过这个问题，他告诉我说，科迪耶拉的亚马拉人和基切亚人都是显著无毛的，但到了老年偶尔也会在下巴上长出少数几根零乱的毛。这两个部落的人在欧洲人茂密长毛的那些身体部位，却只长很少的毛，而女人在相应的部位则无毛。而他们男女的头发却特别长，往往几乎触及地面；有些北美部落的人也是如此。就毛的数量和身体的一般形状而言，美洲土人男女之间的差异并不像大多数其他种族那样大③。这一事实同亲缘密切近似的猴类之间的情况是相似的；例如黑猩猩雌雄二者之间的差异就不像猩猩或大猩猩雌雄二者之间的差异那样大④。

在以上数章里我们已经看到，有各种理由可以相信哺乳类、鸟类、鱼类、昆虫类等等的许多性状最初是由某一性通过性选择而被获得的，然后又传递给另一性。由于这种同样的传递形式显然也非

① 巴纳德·戴维斯论大洋洲的种族，《人类学评论》，1870年4月，185页，191页。

② 卡特林，《北美的印第安人》(North American Indians)，第3版，1842年，第2卷，227页。关于格拉尼族，阿扎拉(Azara)《南美游记》，第2卷，1809年，58页；还有，伦格尔，《巴拉圭的哺乳动物》(Säugethiere von Paraguay)，3页。

③ 阿加西斯教授说美洲男女之间的差别小于黑人之间的以及高等种族之间的差别，见《巴西游记》(Journey in Brazil)，530页，关于格拉尼族，再参阅伦格尔的上述著作，3页。

④ 吕蒂迈尔(Rütimeyer)《动物界的边际；用达尔文学说进行的观察》(Die Grenzen der Thierwelt；eine Betrachtung zu Darwin's Lehre)，1868年，54页。

常通用于人类，所以当我们讨论为雄者所特有的性状以及为雌雄二者所共有的某些其他性状之起源时，将会省去无用的重复。

战斗的法则

关于未开化人，例如澳洲土人，妇女是同一部落诸成员之间以及不同部落之间进行战斗的一个经常原因。在古代无疑也是如此；“希腊以前，战争的原因就是为可憎的女子。”关于某些北美印第安人，他们的这种争斗已成为一种制度。优秀的观察家赫恩说[①]：“男人强夺他们所爱慕的女人，已成为这等民族的风俗；当然，总是最强的一伙得胜。一个软弱的男人除非是一个良好的猎手而且十分可爱，很少能保住自己的妻子而不被较强者夺去。这种风俗通行于所有部落，并且鼓舞着青年们的竞争精神，他们从小就利用一切机会参加抢婚，练习武艺。”阿沙拉说，南美瓜纳人的男子不到 20 以上很少娶妻，因为在 20 岁以前他们不能战胜其对手。

还可以举出其他相似的例子；但是，即使没有关于这一问题的证据，根据高等四手类的情况来类推[②]，我们差不多也可以肯定战斗的法则在人类的早期发展阶段是通行的。人类今天还偶尔生长犬齿，超出其他诸齿之上，下颚也偶尔会出现容纳上颚犬齿的虚位痕迹，这种情况完全可能是返归往昔状态的一个例子，那时人类的祖先还具有这等武器，就像如此众多的现存雄性四手类那样。在前一章已经提到，当人类逐渐变得直立并且不断地使用手和臂拿木

① 《从威尔士亲王要塞出发的旅行记》(A Journey from Prince of Wales)第 8 版，都柏林(Dublin)，1796 年，104 页。拉伯克爵士提供一些北美的相似事例，见《文化的起源》，1870 年，69 页。关于南美的瓜纳族(Guanas)，参阅阿扎拉的《航海记》，第 2 卷，94 页。

② 关于雄大猩猩的争斗，参阅萨维奇的文章，见《波士顿博物学杂志》，第 5 卷，1847 年，423 页。关于长尾叶猴(*Presbytis entellus*)，参阅《印度大地》(Indian Field)，1859 年，146 页。

棍和石头来进行战斗以及从事其他生活活动时，他们使用颚和齿就会越来越少。于是上下颚及其肌肉通过不使用大概就要缩减，而牙齿通过尚未十分理解的生长相关原理和生长经济原理大概也要缩减；因为我们随处可以看到，凡是不起作用的部分都要缩减。通过这样的步骤，人类男女的颚和齿的原始不相等性，最终就会消除。这一情况同许多雄性反刍动物的情况差不多是相似的，反刍动物的犬齿已缩小成仅仅是一种残迹，或竟消失，这显然是角的发达的结果。由于猩猩和大猩猩雌雄二者在头骨方面的重大差异同其雄者巨大犬齿的发达存在着密切关系，所以我们可以推论，人类早期祖先的颚和齿的缩小一定会引起他们的面貌发生最显著而有利的变化。

同女人比较起来，男人的体格较大，体力较强，而且双肩较阔，肌肉较发达，身体轮廓较粗壮，更为勇敢，更为好斗，所有这些主要都是来自其半人男性祖先的遗传。然而，在人类长期的未开化期间，由于最强壮而且最勇敢的男人无论在一般生存斗争还是在夺妻斗争中均获得成功，上述性状大概会被保存下来，甚至会被增大；这种成功大概还会保证他们比其较劣的同伴留下大量的后代。男人最初获得较强的体力大概不会是由于下述的遗传效果所致，即男人为了自己和家庭的生计要比女人付出更强的劳动；因为，在所有未开化的民族中女人也要被迫劳动，其强度至少和男人的一样。凭战争来占有妇女，在文明人中早已停止了；另一方面，按照一般规律，男人势必比女人付出更强的劳动来维持其共同的生活，这样，他们的较强体力大概会保持下来。

男女心理能力的差异

关于男女之间这种性质的差异，性选择大概起了高度重要的作用。我知道有些作者怀疑任何这等差异是否经过遗传而来的；但

是，根据具有其他第二性征的次级动物来类推，上述情况至少是可能的。没有人会争论，公牛和母牛、公野猪和母野猪、公马和母马，在性情方面彼此之间都不相同，而且正如动物园管理员所熟知的那样，大型猿类雌雄二者的性情也彼此不同。女人和男人的气质似乎也不相同，这主要表现在她们较多的温柔和较少的自私；甚至未开化人也是如此，在芒戈·帕克所写的《旅行记》的著名一节中以及在许多其他旅行者的叙事中均有这样记载。女人由于她的母性本能，对其婴儿把这等属性发扬到极端的程度，所以她们把这等属性扩展到同群之人是很可能的。男人是另外男人的竞争对手；喜欢争胜，这就会引起野心，而野心非常容易发展成利己主义。后面这等属性似乎是他所具有的天然的而且不幸是生来就有的权利。一般承认，女人所具有的直觉能力、迅速知觉的能力、恐怕还有模仿的能力，都比男人强得多；但是，至少有些这等官能乃是较低种族的特征，因而也是过去文化较低状态的特征。

男女智力的主要差别在于男子无论干什么事，都比女人干得好——无论需要深思的、理性的，还是需要想象的，或者仅仅使用感觉和双手的，都是如此。如果列出两张表，载人在诗歌、绘画、雕塑、音乐（包括作曲和演奏）、历史、科学以及哲学诸方面的成就最杰出的男人和女人，每一门为十名，即可看这两个表将无法进行比较。高尔顿先生在其《遗传的天才》那一著作中，对"平均离差法则"(law of the deviation from average)作过充分的说明，我们根据这一法则可以推论，如果男人在许多智力活动方面都优于女子，则男子的心理能力一定高于女子。

在人类的半人祖先中，以及在未开化人中，男人之间为了占有女人进行了许多世代的斗争。但是仅恃体力强大，很少能取胜，除非同勇敢、坚忍以及不挠的精力结合起来，才能奏效。关于社会性的动物，幼小的雄者在赢得一个雌者之前，势必通过多次争斗，而且较老的雄者也势必重新进行战斗才能保持住它所占有的雌者。

在人类的场合中,男人还势必保卫其占有的女人及其子女不受所有种类的敌者为害,同时还得为大家的共同生存去狩猎。但是,为了成功地避免敌害或向它们进攻,为了捕获野生动物,为了制造武器,就需要较高的心理官能,即观察、理解、发明或想象的帮助。这种种官能在男子成年期间不断受到检验和淘汰;在这同一期间,这等智力通过使用进而得到加强。因此,按照常常提到的那一原理,我们可以预期这等智力至少倾向于在相应的男子成年期间主要向男性后代传递。

那么,如果两个男人进行竞争,或者一个男人同一个女人进行竞争,而且双方所具有的每一种心理属性都是同等完善的,那么倘一方具有较高的精力、坚持力和勇气,则这一方一般就会在各种事务中领先并占有优势①。所以说他有天才——因为一位大权威曾经宣称,天才就是耐力;从这种意义来说,耐力就是意味着不屈不挠的坚持。但这种对天才的见解恐怕还有不足之处;因为,如果没有想象和理解的较高能力,就不能在许多问题上得到卓越的成功。后面所说的这等官能以及前面所说的那些官能在人类中是通过性选择——即通过敌对的雄者之间的斗争,而且部分地通过自然选择——即通过在一般生存斗争中获得成功而发达起来的;由于这两种争斗都是在成熟期间进行的,所以,这一时期所获的性状传递给雄性后代的比传递雌性后代的更加充分。

这同下述观点显著符合,即,人类许多心理官能的变异和加强都是通过性选择来完成的,第一,这等心理官能的大量变化显然发生于青春期②,第二,阉人的这等心理官能终生处于劣势。这样,男人终于要变得优于女人。幸而性状向雌雄双方同等传递的法则通

① 米尔(Mill)说,"男人最胜过女人的,在于那些需要以独立思考进行和若干千锤百炼的事情"《女子的隶属地位》(The Subjection of Women),1869 年,122 页,此非精力和坚忍为何?

② 莫兹利(Maudsley)《精神和身体》(Mind and Body),31 页。

行于哺乳类；否则男人的心理秉赋可能远远高出女人之上，就像雄孔雀的装饰性羽衣优于雌孔雀的那样。

必须记住，雌雄任何一方在生命晚期获得的性状，都有在那一时期传递给同一性别的倾向，而在生命早期获得的性状则有传递给雌雄双方的倾向，这虽然是一般规律，但并非永远都能适用。如果这一规律永远适用，我们便可断言（但我已超出了我的讨论范围），男孩和女孩的早期教育的遗传效果大概会同等地向男女双方传递；所以男女双方心理能力现今这样的不相等并不会由于早期教育的相似过程而被抹去；而且这种不相等也不是由于早期的不相似教育而形成的。因此，要使女人达到男人同样的标准，就应该在她们接近成年时锻练其精力和坚忍精神，而且运用其理解力和想象力以达到最高水平；于是，她大概可以把这等属性主要传递给其成年的女儿。然而，不是所有女人都能提高到这样的水平，除非具有上述健全美德的女人在许多代中都能婚嫁，而且比其他女人生下数量较多子女。至于上面所说的体力，现今已用不到它去进行夺妻斗争了，这种选择方式已成过去，但是，在男子成年期，他们一般还要进行剧烈的争斗以维持其本身和家族的生存；这就倾向于把他们的心理能力保持下来，甚至增强，其结局便形成了男女之间现今这样的不相等性①。

声音和音乐能力

在四手类的某些物种中，成年的雌雄二者之间在发音能力方

① 沃格特做的一项观察同这个问题有关，他说："值得注意的一个情况是，男女之间关于脑壳的差异，随着种族的发展而增加，所以欧洲男女在这方面的差异远比黑人男女为甚。韦尔克尔根据胡希克（Huschke）对黑人和德国人头骨所做的测计，证实了他的上述说法。"但是，沃格特认为对这个问题还需要进行更多的观察（《人类讲义》，英译本，1864年，81页）。

面以及在发音器官的发达程度方面都有重大差异;人类似乎也从其早期祖先遗传了这种差异。成年男人的声带约比女人和小孩的长三分之一,去势对人类发生的效果和对次级动物发生的效果一样,因为这种效果"抑制了甲状腺的显著生长,等等,而'声带'的延伸正与甲状腺的生长相伴随"[①]。关于男女之间这种差异的原因,我在前一章曾谈到雄者在爱情、愤怒和嫉妒的激动下长期连续使用发音器官的可能效果,此外我还无可补充。按照邓肯·吉布的说法[②],声音和喉头的形状在人类的不同种族中是不同的;但是,据说鞑靼人、中国人等,其男人的声音同女人的声音不像大多数其他种族男女之间的这种差别那样大。

歌唱和演奏音乐的能力及其爱好,虽然不是人类的一种性征,却不可置之不论。所有种类的动物发出的声音虽有许多用途,但有一个强有力的事例可以说明,发音器官的最初使用及其完善化是同物种的繁殖有关联的。昆虫类以及某些少数蜘蛛类是最低等的动物,它们故意地发出声音;这种发音一般是借助于构造美丽的摩擦发音器官来完成的,而这种器官往往只限于雄者所有。这样发出的声音是由有节奏地反覆同一音调构成的[③],我相信在所有场合中都是如此:这种音调有时甚至使人类感到悦耳。其主要的、在某些场合中唯一的目的在于召唤或魅惑异性。

据说在某些场合中只有雄鱼在繁殖季节才发出声音。一切呼吸空气的脊椎动物均须具有一种吸入和呼出空气的器官,同时还需具有一根在一端可以关闭的气管。因此,当这一纲的原始成员强烈激动时,它们的肌肉就要剧烈收缩,毫无目的的声音几乎肯定会由此发生;这等声音如果被证明在任何方面有所作用,由于完全适

① 欧文,《脊椎动物解剖学》,第3卷,608页。

② 《人类学学会会刊》(*Journal of the Anthropolog. Soc.*)1869年4月,57,58页。

③ 斯卡德尔(Scudder),《关于摩擦发音的记录》(Notes on Sfridulation),见《波士顿博物学会会报》,第11卷,1868年4月。

应的变异得到保存，它们大概就会容易地被改变或加强。呼吸空气的最低等动物为两栖类；在这类动物中，蛙类和蟾蜍类都有发音器官，在繁殖季节它们不断地使用这等器官，而雄者的发音器官往往比雌者的更加高度发达。在龟类中只有雄者才能发音，而且仅在求偶季节如此。雄鳄鱼在求偶季节也吼叫。众所周知，鸟类把它们的发音器官用作求偶手段的是何等之多；而且有些物种还会演奏所谓的器乐。

在这里我们特别要谈的是哺乳类，在这一类动物中，几乎所有物种的雄者在繁殖季节比在任何其他时期更加常常使用它们的声音；有些物种除在这一季节外绝不发音。另外有些物种，其雌雄二者或只是雌者使用它们的声音作为求偶的召唤。鉴于这等事实，以及某些雄性四足兽的发音器官在繁殖季中永久地或暂时地比雌者的发音器官更加发达得多；同时鉴于在大多数较低等的动物中，雄者的发音不仅用来召唤雌者而且用来刺激或魅惑雌者，那么，要说我们至今还没有掌握任何良好的证据来阐明雄性哺乳动物使用这等器官来魅惑雌者，那就真是一件怪事了。美洲卡拉亚吼猴恐怕是一个例外，同人类近似的敏长臂猿也是如此。这种长臂猿的声音极高，不过好听。沃特豪斯说①，“其音阶的上下之差永远正好是半音；我确信其最高音至最低音恰为八音度。音调非常悦耳；除了它的声音过高外，我不怀疑一位好提琴家大概能够正确地奏出长臂猿所作的曲调。”然后沃特豪斯记出其音符。欧文教授是一位音乐家，他证实了以上的叙述，并且说道，“在野生的哺乳动物中只有长臂猿可称为能歌唱”，但这种说法是错误的。它们在歌唱之后，似乎非常激动，不幸的是，在自然状况下从来没有对它的习性进行过观察，但从其他动物来类推，它在求偶季节格外运用其音乐能力。

① 见马丁的《哺乳动物志大纲》，1841年，432页；欧文，《脊椎动物解剖学》，第3卷，600页。

在能歌会唱的属中，这种长臂猿不是唯一的物种，因为我的儿子弗朗西斯·达尔文在伦敦动物园中用心地听过银灰长臂猿的歌唱，这个乐章由三种音调组成，其音程真正是音乐的，而且具有清楚的音乐调子。还有更为奇怪的事情，某些啮齿类会发出音乐的声音。常常提到有能歌唱的鼠，而且被展览过，不过一般猜测这是欺骗。然而，我们终于得到了著名观察家洛克伍德牧师①对一个美洲物种的音乐能力所作的清楚记载，这个物种就是西洋鼠，属于和英国鼠不同的一个属。这个小动物养于拘禁之中，反覆地听到它的演奏。它演奏的有两支主要歌子，在其中的一支歌子中，"最后一小节屡屡延长为两三个小节；它有时把C高音和D音变为C本位音和D音，然后用柔和的颤音唱出这两个音调，片刻之后，以快速的C高音和D音来作结束。其半音之间的界限有时是很明显的，而且善听之耳容易加以区别。"洛克伍德先生把这两支歌子记入乐谱，而且补充说道，这种小鼠"虽无节奏感，却能保持B调（降两个半音），而且严守主调。"……"其柔和清脆的声音非常正确地降下一音阶；然后在结束时再度抬高转为C高音和D音的急速颤声。"

一位批评家问道，人类之耳（他还应加入动物之耳）何以能够通过选择而适应去辨别音乐的声调。但是，这一发问表明了对这个问题的认识还有某种混淆不清之处，所谓噪音乃是对各个不同乐段的若干空气"单振动"同时存在所产生出来的感觉，各个单振动的中断如此屡屡发生，以致无法觉察到它的分别存在。噪音和音乐声调的差别仅仅在于噪音的振动缺少连贯性，且各个振动之间缺少和谐性。这样，耳就能够辨认噪音——每一个人都承认这种能力对一切动物的高度重要性，因此耳对音乐声调也一定能够有所感觉。甚至在等级很低的动物中，我们也可以看到有关这种能力的证据：例如，甲壳类具有不同长度的听毛，如果奏出适当的音乐声调，

① 《美国博物学者》，1871年，761页。

可以看到听毛就会振动[①]。在前一章已经提到，关于蚊类触角上的毛，也做过同样的观察。优秀的观察家们曾经断定，音乐对蜘蛛有吸引力。有些狗听到特殊的音调就要吠叫[②]，这也是众所周知的。海豹显然欣赏音乐，“古人对海豹的这种爱好是非常熟悉的，而且在今天猎人还常常利用这一点[③]。”

因此，仅就对音乐声调的感觉而言，无论在人类的场合中，还是在其他动物的场合中，似乎都不存在特殊的难题。海伦赫支根据生理学的原理来说明和谐音为什么是悦耳的，而不谐和音为什么不是；但这同我们的讨论关系不大，因为和谐的音乐乃是晚近的发明。同我们的讨论关系较多的乃是悦耳的音调，按照海伦赫支的说法，为什么要使用音阶的音符也是可以理解的。耳可以把所有声音分析为合成这等声音的单振动，虽然我们对于这种分析并不自觉。在一种音乐声调中最低的音一般占主位，其他较不显著的音为第八音，第十二音，第十六音，等等，所有这等音都是同基础主音相谐和的；音阶中的任何两个音共同都有许多这等和谐的陪音。于是，情况就似乎相当清楚了；如果一个动物总是准确地唱同一支歌，那么它就要接连地使用那些共同具有许多陪音的音调——这就是说，这个动物为它的歌唱大概会选用属于人类所使用的音阶的那些音调。

但是，如果进一步追问，具有一定顺序和节奏的音调为什么能使人和其他动物感到愉快，我们所能举出的理由不会超出为什么一定的味道可以悦口而且一定的气味可以悦鼻。根据这等声音是

---

① 赫姆霍尔兹(Helmholtz)《音乐的生理学理论》(Théorie Phys. de la Musique)，1868年，187页。

② 关于这种效果曾发表过几篇文献。皮奇(Peach)先生写信告诉我说，他反覆看到，当长笛发出B降半音时，他的那条老狗就吠叫，而它听到其他音调就不吠叫。我还可以补充一个事例：有一条狗当听到演奏六角手风琴走调时，它就哀哀吠叫。

③ 布朗先生，《动物学会会报》，1868年，410页。

由许多昆虫类、蜘蛛类、鱼类、两栖类以及鸟类在求偶季节发出的，我们可以推论这等声音确能使动物感到某种愉快；因为，除非雌者能够欣赏这等声音，而且受到它的刺激或魅惑，否则雄者不屈不挠的努力以及往往只是雄者才具有的这种复杂构造大概就是无用的了；但这是不可相信的事。

一般认为，人类的歌唱乃是器乐的基础或起源。由于欣赏音乐以及产生音乐调子的能力就人类的日常生活习性而言都是一点也没有用处的才能，所以必须把它们列为人类秉赋中最神秘的一种。人类的所有种族，甚至未开化人都有这等才能，虽然是处于很原始的状态；若干种族爱好什么样的音乐却如此不同，以致我们的音乐不会使未开化人感到兴趣，而他们的音乐大多数则使我们感到讨厌和乏味。西曼在一些有关这个问题的有趣评论中① 怀疑到，"甚至在西欧诸民族中，某一个民族的音乐是否会按照同样的意义被其他民族所理解，虽然它们交通频繁，关系密切。愈向东行，我们便会发现那里肯定有不同的音乐语言。欢乐的歌唱以及舞蹈的伴奏已不像我们那样地使用大调，而总是使用小调。"无论人类的半动物祖先是否像能够歌唱的长臂猿那样地具有产生音乐调子，因而无疑具有欣赏音乐调子的能力，我们知道人类在非常远古的时期就有这等才能了。拉脱特描述两支由骨和驯鹿角制成的长笛，这是在洞穴中发现的，其中还有燧石具以及绝灭动物的遗骸。唱歌和跳舞的艺术也是很古老的，现在所有或几乎所有人类最低等的种族都会唱歌和跳舞。诗可以视为由歌产生的，它也是非常古老的，许多人对于诗发生在有史可稽的最古时代都感到惊讶。

我们知道，完全缺少音乐才能的种族是没有的，这种才能可以迅速地而且高度地得到发展，例如霍屯督人和黑人都可以成为最

① 《人类学学会会报》，1870年10月，155页。再参阅卢伯克爵士的《史前时代》一书的后面几章，第2版，1869年，其中有关于未开化人的令人钦佩的记载。

优秀的音乐家，虽然他们在其家乡所演奏的没有一种可以称为音乐的。然而，施魏因富特却喜欢他在非洲腹地所听到的一些简单的曲调。不过人类的音乐才能处于潜伏状态一点也不奇怪；有些鸟类的物种生来就不鸣唱，但把它们教会并不十分困难；例如，有一只家麻雀学会了红雀的鸣唱。由于这两个物种的亲缘是密切接近的，都属于燕雀目，这个目包括了世界上几乎所有能鸣唱的鸟，所以麻雀的某一个祖先可能就是能鸣唱的。更加值得注意的是，鹦鹉所属的类群不同于燕雀类，且其发音器官具有不同的构造，它不仅可以学会说话，而且可以学会吹奏人类所制的曲调，所以它一定有某种音乐才能。尽管如此，若认定鹦鹉来源于某一个能鸣唱的祖代类型，未免还是过于轻率了。可以举出许多事例来表明，原本适于某一目的的器官和本能竟用于另一截然不同的目的[①]。因此，人类未开化种族所具有的高度发达的音乐能力，或是由于人类半动物祖先演奏某种粗略形式的音乐，或是单纯地由于它们获得了适于不同目的的适当的发音器官。但是，在后一场合中我们必须假定他们已经具有了对音调的一定感觉，上述鹦鹉的情况就是这样，恐怕还有许多动物也是如此。

音乐可以激发人类的各式各样的情绪，但不是恐怖、畏惧、愤怒等那样激烈的情绪。它能唤醒温柔而怜爱的优雅感情，由此很容易变为虔诚。在中国的史书中有谓，“音乐力量之强，可使天神下凡。”它还能激起我们的胜利感以及光荣地进行战争的热情。这等强有力的和交集的感情可以充分地引起崇高感。正如西曼博士所

---

① 当本章付印后，我曾看到乔塞·赖特所写的一篇有价值的文章（见《北美评论》，1870 年 10 月，293 页），当他讨论上述问题时说道，“终极法则、即自然界的一致性产生许多结果，于是某一种有用能力的获得将会引出许多利益以及有限度的不利（实际的和可能的），这可能是功利原理在其作用中所不曾包括的。正如我在以前一章所试图阐明的，此原理同人类获得某些心理特征有重要关系。”

观察的，一曲音乐比若干页文章更能把我们的强烈感情凝聚起来。当雄鸟倾吐其全部歌唱，与其他雄鸟竞争，以吸引雌鸟时，其感情同人类所表现的大概差不多是相同的，不过远远不及人类情感那样强烈，那样复杂而已。在我们的歌曲中爱情依然是最普通的主题。赫伯特·斯宾塞说，“音乐可以激发潜伏的情感，我们既不能想象其存在，又不知其意义；或者，如里希特所说的，音乐告诉我们的事情是未曾见到的，而且今后也不会见到。”相反地，当演说家感到并表达强烈的情绪时，甚至在普通谈话中，也会本能地使用音乐的调子和节奏。非洲黑人当激动时会突然大声歌唱；“另外的人则以歌作答，于是大家用低沉的声音齐声合唱，好像受到音乐之波的触击一般。”[①] 即使猴类也会用不同的音调来表达强烈的感情——用低音来表达愤怒和急躁——用高音来表达恐惧和痛苦[②]。由音乐所激发的或由演说的抑扬声调所表达的情感和观念，从其模糊不清、但深远的性质来考虑，颇似在心理上返归悠久过去时代的情绪和思想。

如果我们可以假设人类的半动物祖先在求偶季节会使用音乐的声调和旋律，那么，有关音乐以及热情讲话的所有上述事实在一定程度上都是可以理解的了；其实，所有种类的动物在这个季节不仅会由于爱情而激动，也会由于嫉妒、竞争以及胜利的感情而激动。根据基础深厚的遗传的联想原理，音乐的调子大概会模糊不定地唤起悠久过去时代的强烈情绪。由于我们有各种理由可以设想，有音节的语言是人类所获得的最晚的、肯定也是最高的一种艺术，同时由于产生音乐声调和音乐旋律的本能力量在低等动物的系列中已经得到了发展，所以，如果我们还承认人类的音乐能力是从热

① 温伍德·里德，《人类的折磨》，1872年，441页；《非洲随笔》，1873年，第2卷，313页。

② 伦格尔，《巴拉圭的哺乳动物》，49页。

情洋溢的讲话发展起来的，那就完全同进化原理背道而驰了。我们必须假定演说的韵律和抑扬声调是来源于以前发展起来的音乐能力①。这样，我们便能理解音乐、舞蹈、歌唱以及诗歌怎么会是从如此古老时代发展而来的艺术。甚至可以进一步说，如前章所述，我们相信音乐的声调是语言发展的基础之一②。

由于几种四手类动物雄者的发音器官比雌者的发达得多，而且由于一种长臂猿——类人猿的一种——可以发出全部八音度的音调，或者可以说他们会歌唱，所以，人类的祖先，或男或女，或男女双方，在获得用有音节的语言来表达彼此爱慕之情的能力以前，大概会用音乐的声调和韵律来彼此献媚的。关于四手类动物在求偶季节使用声音的情况，我们所知者如此之少，以致没有方法去判断最初获得歌唱习性的，究竟是人类的男性祖先，还是女性祖先。一般都认为妇女的声音比男子的更甜蜜，仅用这一点作为判断的依据，我们可以推论妇女最先获得了音乐的能力，以便吸引男性③。但是，如果真是这样的话，这也是发生在很久以前，那时我们的祖先还没有十足地变成人类，而且也没有把妇女仅仅当作有用

① 赫伯特·斯宾塞先生所写的《关于音乐的起源及其功能》(Origin and Function of Music)对这个问题进行了很有趣的讨论，载于他的《论文集》，1858年，359页。斯宾塞所做的结论同我的结论正相反。他的结论正如戴德罗特(Diderot)以前所做的那样，认为激情言语所使用的抑扬顿挫的声调提供了音乐所赖以发达的基础；而我的结论则是，音乐的调子和节奏是由人类男女为了取悦异性而最初得到的。这样，音乐的调子同一种动物所能感到的最强烈激情是牢固地联系在一起的，结果就会本能地使用音乐调子，或在言词中表达强烈情绪时通过联想也会使用音乐调子。为什么高亢的和深沉的音调会表达人类和次级动物的某些情绪，斯宾塞先生没有提供任何令人满意的解说，我也没有能够做到这一点。斯宾塞先生对诗歌、朗诵和歌唱之间的关系也进行过有趣的讨论。

② 我在蒙包多(Monboddo)勋爵的《语言的起源》(Origin of Language)一书(1774年，第1卷)中发现布莱克洛克(Blacklock)同样认为，"人类最初的语言为音乐，在用有音节的声音来表达我们的思想之前，则赖不同程度的高低的音调来互通思想。"

③ 参阅赫克尔(Häckel)对这个问题的有趣讨论，《普通形态学》，第2卷，1866年，246页。

的奴隶来对待。热情洋溢的演说家、诗人以及音乐家用其变化多端的乐音以及抑扬的声调激起了听众的最强烈情绪，那么，毫无疑问，他所使用的方法同其半动物祖先很久以前在求偶和竞争期间用以激发彼此热情的方法是没有什么两样的。

美对决定人类婚姻的影响

在文明生活中，男人在选择妻子时大部分要受到对方外貌的影响，但决非全部都如此；不过我们所讨论的主要是原始时代，而我们判断这个问题的唯一方法只能去研究现存的半文明民族和未开化民族。如果这样能够阐明，不同种族的男人喜爱具有种种特点的女人，或者不同种族的女人喜爱具有种种特点的男人，那么我们势必去研究这种选择实行许多代以后，按照通行的遗传方式，是否会对这个种族的男女任何一方或双方产生任何可以觉察的效果。

最好先稍微详细地说明一下未开化人对其个人的容貌是非常注意的①。众所周知，他们热心于装饰；一位英国哲学家甚至主张，衣服最初的制做乃是为了装饰，而不是为了御寒。正如魏采教授所说的，"无论多么贫穷和悲惨的人，都以装饰自己为乐。"下述情况足以表明南美的裸体印第安人在装饰自己方面是很奢侈的："一个高个子的男人艰苦地工作两周所得才能换得用来涂身的红色"奇

① 关于世界各地未开化人装饰自己的方法，意大利旅行家曼特加沙教授做过最优秀的详细记载，见《拉普拉塔旅行记及其研究》(Rio de la Plata Viaggi e studi)，1867年，525—545页；所有以下叙述，凡未记明其他参考书者，均引自此书。再参阅魏采的《人类学概论》，英译本，第1卷，1863年，275页及以下诸页。劳伦斯也做过很详细的记载，见他的《生理学讲义》，1822年。本章写成之后，拉卜克爵士发表了他的《文化的起源》(1870年)，该书的有趣一章对现在这个问题进行了讨论，关于未开化人染牙、染发以及穿齿孔，我从那一章引用了一些事实(42、48页)。

卡"颜料①。驯鹿时期②的欧洲古代野蛮人把他们碰巧找到的任何发亮的或特别的物品都带回洞中。今天各地的未开化人还用羽毛、项圈、臂钏、耳环等物来打扮自己。他们用最多种多样的方式来涂饰自己。正如洪堡所观察的,"如果对涂身的民族就像对着衣的民族那样,进行相同的考察,大概可以发觉最丰富的想象力和最多变的趣味创造了涂饰的流行样式,就像创造了服装的流行样式那样。"

在非洲有一个地方的人把眼睑涂成黑色;另一个地方的人把指甲染为黄色或紫色。还有许多地方的人把头发染上各种颜色。不同地方的人把牙齿染成黑的、红的、蓝的等等,在马来群岛,人们认为牙齿"如果白的像狗牙那样"简直是可耻。北自北极地区,南至新西兰,没有一处大地方的土人不文身的。古代的犹太人和布立吞人都实行文身。在非洲也有些土人文身,但那里最普通的风俗却是,在身体各部割一些伤口,然后在伤口上擦盐,使成疣状物;苏丹的科尔多凡人和达尔福尔人把这种疣状物视为"最富魅力的容姿"。在阿拉伯各国,凡双颊"或鬓角没有伤疤的"③ 不能叫作完全的美人。在南美,正如洪堡所说的,"如果母亲没有使用人工的方法把孩子的小腿按照该地的流行样式改变形状,她就要受到对孩子不关心的指责。"在新世界和旧世界,往昔于婴儿时期就把头骨弄成奇形怪状,现在还有许多地方依然如此,而这种毁形却被视为一种装饰。例如,哥伦比亚的未开化人④ 把非常扁平的头视为"美的必不可少的部分"。

---

① 洪堡,《个人记事》,英泽本,第 4 卷,515 页;关于涂身所表明的想象,522 页;关于改变小腿的形状,466 页。

② 古石器时代的后半期。——译注

③ 《尼罗河支流》(The Nile Tributaries),1867 年;《阿尔贝·尼安萨》(The Albert N'yanza),1866 年,第 1 卷,218 页。

④ 皮卡得(Pichard),《人类体略史》,第 4 版,第 1 卷,1851 年,321 页。

在各个地方，对头发的梳理都特别注意；有的任其充分生长，以至触及地面，有的梳成"紧密而卷曲的拖巴头，巴布亚人把这种发式视为骄傲和光荣。"[①] 在北非，"一个男子完成其发式的时间需要8至10年"。另外一些民族却实行剃光头，南美和非洲一些地方的人，甚至把眉毛和睫毛都拔掉，上尼罗河地方的土人把四个门牙敲掉，说，他们不愿同野兽相像。更向南行，巴托卡人只敲掉上边的两个门牙，正如利文斯通所说的[②]，这使其面貌可憎，由于其下颚突出之故；但这些人却认为门牙最不雅观，当看到一些欧洲人时，便会喊出，"瞧大牙呀！"酋长塞比图尼曾试图改变这种风气，但失败了。非洲和马来群岛各地的土人把门牙锉尖，就像锯齿那样，或者在门牙上穿孔，把大头针插入。

身体的任何部分，凡是能够人工变形的，几乎无一幸免。其痛苦程度一定达到顶点，因为有许多这样的手术需费时数年才能完成，所以需要变形的观念一定是迫切的。其动机是各式各样的；男人用颜色涂身恐怕是为了在战斗中令人生畏；某些毁形，或同宗教仪式有关，或作为发育期的标志，或表示男子的地位，或用来区别所属的部落。在未开化人中，相同的毁形样式流行既久，[③]因此，无论毁形的最初原因为何，很快它就会作为截然不同的标志而被重视起来。但是，自我欣赏、虚荣心以及企图博得赞美似乎是最普通的动机。关于文身，新西兰的传教士告诉我说，他们曾试图劝说一些少女戒绝此事，她们答道，"我们必须在嘴唇上稍微划上几条线，否则在我们长大以后就会变得十分丑陋。"关于新西兰的男子，一

① 关于巴布亚人，参阅华莱士的《马来群岛》，第2卷，445页。关于非洲人的头发式样，参阅贝克爵士的《阿尔贝·尼安萨》，第1卷，210页。

② 《旅行记》，533页。

③ 贝克爵士当谈到中非土人时说道（同前书，第1卷，210页）："每一个部落都有一种固定的特殊发式"。阿加西斯记载过亚马孙河流域印第安人固定的文身式样，见《巴西游记》，1868年，318页。

位最有才华的判断者说道[①],“在脸部刺上优美的花纹,乃表示青年们的大野心,这使他们对妇女有吸引力,还使他们在战斗中显得威风。”在前额刻上一颗星,在颊部刺上一个斑点,都被非洲一个地方的妇女视为不可抗拒的魅力[②]。在世界大部分地方,但非全部地方,男人的装饰都过于女人,而其装饰方式也往往不同;有时女人几乎一点也不装饰,但这种情形并不多见。由于未开化人的妇女必须从事最大部分的劳动,而且由于不允许她们吃最好的食物,所以不允许她们得到或使用最优良的装饰品,是同人类所特有的自私性相一致的。最后,正如上述所证明的,值得注意的一个事实是,在改变头部形状方面,在头发的装饰方面,在用颜色涂身方面,在文身方面,在鼻、唇或耳的穿眼方面,以及在拔除或锉磨牙齿方而等等,世界上相距辽远的地方现在都通行着或长久以来就通行着相同的样式。要说如此众多民族所实行的这等风俗应该是由于来自任何共同起源的传统,都是极其不可能的。这表明人类心理是密切相似的,无论他们属于什么种族都是如此,正如舞蹈、化装跳舞以及绘制粗糙的画是最普遍的习俗一样。

关于未开化人赞赏各式各样的装饰品以及我们视为最难看的毁形,即如上述,现在我们再看一看女人的外貌对男人究竟可以吸引到怎样程度,还有,他们的审美观念是什么。我曾听到有人主张未开化人对他们的妇女的美漠不关心,而仅把她们当作奴隶来评价;因此,最好注意到这一结论同妇女喜欢装饰自己和妇女具有虚荣心是完全不相容的。伯切尔[③]做过一项有趣的记载:布西部落[④]的妇女大量使用油脂、红赭石以及闪闪发光的粉,“如果她的丈夫

① 泰勒(R. Taylor)牧师,《新西兰及其居民》(New Zealand and its Inhabitants),1855年,152页。

② 芒特热沙(Mantegezza)《拉普拉他旅行记及其研究》(Viaggi e Studi),542页。

③ 《非洲游记》,1824年,第1卷,414页。

④ 南非卡拉哈里沙漠地区的一个游牧部落。——译注

不很富有，将会因此而破产。"她"还表现有很大的虚荣心，而且她的优越意识也是非常明显的。"温尔德·里德先生告诉我说，非洲西海岸的黑人常常讨论他们的妇女的美。有些优秀的观察家们认为可怕的杀婴恶习的部分原因在于妇女期望保持其美貌。[①] 若干地区的妇女戴咒符或用迷药以博取男子的爱情；布朗先生举出四种植物，是美洲西北部的土著妇女为了达到这个目的而使用的[②]。

一位最优秀的观察家赫尔恩[③] 多年同美洲的印第安人生活在一起，当他谈到他们的妇女时说道，"如果问北部印第安人何为美女时，他的回答将是：宽而平的脸，小眼，高颊骨，双颊各有三四条宽阔的黑线，低额，大而宽的下巴，隆大的钩鼻，黄褐色皮肤，而且乳房下垂及腹"。帕拉斯曾经访问过大清帝国的北部，他说，"在那里满洲式的女人是为人所爱好的，这就是说，要有宽脸、高颧骨、很宽的鼻子以及大耳朵"[④]；沃格特说，"作为中国人和日本人特征的斜眼在画上未免夸大了，其用意似乎在于"同红毛野蛮人的眼睛相比，以表示这种斜眼的美。"正如胡克反覆提到的，中国内地的人认为欧洲人很丑，因为他们的皮肤是白的，鼻子是高的。按照我们的看法，锡兰土人的鼻子远远不算太高；但"7世纪的中国人已经看惯了蒙古族的扁平面貌，对于锡兰人的高鼻子还是感到惊奇；把他们描写为鸟喙人身之人。"

芬利森在详细地描述了交趾支那人之后说道，他们的圆头和圆脸为其主要特征；接着他说，"女人整个面部的圆形更为显著，她

① 参阅格兰德(Gerland)的《原始民族的消亡》(Ueber das Aussterben der Naturvölker)，1868年，51、53、55页；再参阅阿莎拉的《航行记》，第2卷，116页。

② 关于美洲西北部分印第安人所使用的植物，参阅《药学杂志》(*Pharmaceutical Journal*)，第10卷。

③ 《从威尔士亲王要塞出发的旅行记》，第8卷，1796年，89页。

④ 普里查德(Prichard)在其著作《人类体格史》中引用，第3版，第4卷，1844年，519页；沃格特，《人类讲义》，英译本，129页。关于中国人对僧伽罗人(Cingalese)的看法，参阅坦南特的《锡兰》，1859年，第2卷，107页。

们的脸越圆被认为越美。”暹罗人的鼻子小，鼻孔远离，阔口，厚唇，面庞甚大，颧骨高而阔。所以“我们认为是美人的，在他们看来却是异乡人，这一点也不奇怪。但他们以为他们自己的妇女要比欧洲妇女漂亮得多。”①

众所周知，许多霍屯都人妇女的臀部异常突出；这叫作臀脂过肥；安德鲁·史密斯爵士肯定这一特点必为那里的男子大加赞赏。② 有一次他看到一位被视为美人的妇女，其臀部如此发达，以致坐在平地上而无法起立，她势必拖着自己前进，直至达到一个斜坡时，才能站起。在各个不同的黑人部落中，有些妇女也具有同样特点：按照伯顿的说法，索马里男人“选择妻子的方法是，把她们排成一线，挑出其臀部最为突出者。”与此相反的形态乃是黑人最厌恶不过的。③

就肤色来说，芒戈·帕克的白皮肤和高鼻子受到了黑人的嘲笑，他们认为此二者皆不堪入目，而且形态奇异。反之，帕克却称赞他们的皮肤黑得光泽夺目，鼻子扁得秀丽美观，他们说这是“甜言蜜语”，尽管如此，还是给他东西吃。非洲的摩尔族看到帕克的白皮肤，“便皱起眉来，好像不寒而栗。”在非洲东海岸，黑人小孩们看到伯顿时便大声喊叫，“看这个白人呀，他难道不像白猿吗？”温伍德·里德先生告诉我说，在非洲西海岸，黑人称赞皮肤越黑越美。按照这位旅行家的意见，他们对白皮肤感到恐怖，这可能部分地由于大多数黑人相信魔鬼和灵魂都是白色的，部分地由于他们认为白皮肤是健康恶劣的标志。

---

① 普里查德引用克劳弗德(Crawfurd)和芬利森的意见，见《人类体格史》，第4卷，534、535页。

② 这位声名赫赫的旅行家告诉我说，我们最嫌恶的妇女月经带，以前却最受这个种族的重视，但这种风气现在已有改变，其重视程度已经远不及以前了。

③ 《人类学评论》，1864年11月，237页。再参阅魏茨的《人类学概论》，英译本，1863年，第1卷，105页。

非洲大陆较南部分的班埃族也是黑人，但"大多数这种人的皮肤都是浅咖啡牛奶色的，在那整个区域，的确都把这种肤色视为漂亮美观的；"所以，我们在这里看到了一种不同的审美标准。卡菲尔人同黑人大不相同，"除了靠近迪拉果阿湾的部落以外，他们的皮肤通常都不是黑色的，主要的肤色为黑与红的混和色，最普通的色调为巧克力色。暗色的皮肤由于最普遍，自然得到最高的评价。如果告诉一位卡菲尔人说，他的皮肤是浅色的，或与白人相像，这会被认为大不敬。我听说有一个不幸的男子，由于他的皮肤白皙，以致没有一个女子愿意嫁给他。"祖鲁族的王有一徽号为"汝乃黑色者。"[①]高尔顿先生当同我谈到南非土人时说道，"他们的审美观念和我们的似乎很不相同；因为在某一个部落中，有两位窈窕淑女竟得不到土人的赞美。"

再来看看世界其他地方的情况；按照普法伊费尔夫人的材料，在爪哇，黄皮肤的、而不是白皮肤的女子被视为美人。交趾支那的一位男子"以轻蔑的语调谈到英国大使夫人的牙白得像狗牙一样，红润的肤色就像马铃薯花的颜色那样。"我们知道，中国人讨厌我们的白皮肤，北美土人赞美"黄褐色的皮肤。"南美的佘拉卡拉族居住在东部科迪耶拉山潮湿的、森林茂密的斜坡上，皮肤色甚淡，正如他们语言所表示的其名称那样；尽管如此，他们还认为欧洲妇女远在其本族妇女之下[②]。

在北美的若干部落中，头发极长；卡特林提出一个奇妙的证据来证明在那里长头发受到何等重视，因为，乌鸦族的酋长之所以能

① 芒戈·帕克的《非洲游记》，1816年，53、131页。沙夫豪森引用伯顿的叙述，见《人类学文献集》(*Archiv für Anthropolog*)，1866年，163页。关于班埃人，利文斯通，《游记》，64页。关于卡菲尔人，斯库特尔(Schooter)牧师，《纳塔尔和祖鲁地方的卡菲尔人》(The Kafirs of Natal and the Zulu Country)，1857年，1页。

② 关于爪哇人和交趾支那人，参阅魏茨的《人类学概论》，英译本，第1卷，395页。关于佘拉卡拉族，皮卡得在《人类体格史》中引用杜比尼的材料，第5卷，第3版，476页。

够被选举担任此职，是因为在该部落的男子中他的头发最长，即达10英尺7英寸。南美的亚马拉人和基切人同样也有很长的头发；福勒斯告诉我说，长头发之美受到如此高度的评价，以致把它割掉乃是所能给与他的最严厉的惩罚。无论南美或北美的土人有时为了增加头发的长度，要把纤维物质编进去。虽然头发受到这样的珍视，但北美印第安人却把脸上的毛视为"丑陋不堪"，所以每一根脸毛都被仔细地拔掉。整个美洲大陆，北从温哥华岛起，南至火地，都盛行此事。当贝格尔号舰上的火地人约克·明斯特尔被带回他的家乡时，那里的土人告诉他应该把脸上的那几根毛拔掉才好。有一位青年传教士同他们相处不久，他们威胁他，要把他的衣服剥光，拔掉他脸上和身上的毛，然而他的毛决不是很多。这种风气在巴拉圭的印第安人中达到了极端，以致他们把眉毛和睫毛统统拔掉，说，他们不愿同马相似①。

值得注意的是，全世界的种族凡是几乎完全不具有胡须的，都讨厌脸上的和身上的毛，而且尽力把它们拔光。维奇先生说，日本妇女"都对我们的连鬓胡子有反感，认为它很丑，并且叫我们把它刮掉，"像日本男子那样。"新西兰人生有卷而短的胡须；然而他们以往都把脸上的毛拔掉。他们有一句谚语："没有一个女子愿意嫁给多毛的男子"；不过新西兰人的这种风气大概已经改变了，这恐怕是由于欧洲人来到那里之故，有人向我确言，毛利人现在已对胡须加以赞美了。②

---

① 《北美的印第安人》，卡特林著，第3版，1842年，第1卷，49页；第2卷，227页。关于温哥华岛的土人，参阅斯普罗特(Sproat)的《未开化人生活的景象及其研究》，1868年，25页。关于巴拉圭的印第安人，参阅阿扎拉的《航行记》，第2卷，105页。

② 关于暹罗人，普里查德，同前书，第4卷，533页。关于日本人，维奇，《艺园者纪录》(Gardener's Chronicle)，1860年，1104页。关于新西兰人，曼特加沙，《拉普拉他旅行记及其研究》，1867年，526页。关于上述其他民族，劳伦斯，《生理学讲义》，1822年，272页。

相反地，胡须长的种族却赞美他们的胡须并对其评价很高；在盎格鲁·撒克逊人中，身体的每一部分都有一个公认的价值；"失去胡须者估价为 20 先令，而大腿折断者仅定为 20 先令"。[①] 在东方，男子用他们的胡须庄严地发誓。我们已经看到，非洲玛卡洛洛族的酋长秦塞第认为胡须是一种重要的装饰。太平洋的斐济人的胡须"十分茂密，这是他们最大的骄傲"，但邻近的汤加群岛和萨摩亚群岛的居民"却是无须的，并且厌恶毛糙的下巴，"在埃利斯群岛中，只有一个岛上的男人多须，"但对此毫不感到骄傲。"[②]

由此我们可以看出人类不同种族的审美感是何等广泛地不同。每一个民族如果达到充分进步的程度，都要雕刻他们的神像以及他们的奉若神明的统治者像，毫无疑问，雕刻师们都会尽力表达其美丽与庄严的最高理想[③]。根据这一观点，我们最好把希腊的朱庇特像或阿波罗像同埃及或亚述的雕像加以比较；再把这些雕像同中美败壁残垣上的丑陋浮雕加以比较。

我所偶到的反对这一结论的叙述还不多。温伍德·里德先生有丰富的机会不仅对非洲西海岸的黑人进行过观察，而且对从来没有同欧洲人接触过的非洲腹地的黑人也进行过观察，然而他却相信他们的审美观念同我们的完全一样；罗尔夫斯博士写信告诉我说，伯尔奴族以及普洛部落所在地方的情况也是如此。里德先生发现他和黑人对评价当地女子的美有一致的看法，而且他们对欧洲妇女美的欣赏，同我们也是一致的。他们赞美长发，并且用人工方法使其显得茂盛；他们还赞美胡须，虽然自己胡须稀疏。什么样的鼻子最受称赞，里得先生还感到怀疑：他曾听见一个女子说，"我

① 卢伯克，《文化的起源》，1870 年，321 页。

② 巴纳德·戴维斯引用皮卡得先生以及其他人士关于波里尼西亚人这等事实的述说，见《人类学评论》，1870 年 4 月，185、191 页。

③ 孔德(Ch. Comte)在其《法律专著》("Traité de Législation,"第 3 版，1837 年，136 页)中曾谈到此事。

才不要嫁他呢，他没有生鼻子"；这表明很扁平的鼻子是不受欢迎的。然而，我们应该记住，西海岸黑人的平阔的鼻子及其突出的颚部，乃是非洲居民的例外类型。里德先生尽管有以上叙述，他还是承认黑人"不喜欢我们皮肤的颜色；他们以厌恶的神情来看我们的蓝眼睛，他们以为我们的鼻子太长，我们的嘴唇太薄。"仅仅根据对身体美的鉴赏，里德先生并不以为黑人喜欢最美丽的欧洲妇女胜过喜欢一个好看的黑人女人。①

很久以前洪堡② 所主张的原理说，人类赞美而且常常夸大自然给予他的任何特征，这一原理的一般正确性已从许多方面得到阐明。少须的种族把每一根胡须都拔光，而且常常把所有身体上的毛都拔掉，这一情况为上述提供了例证。在古代和近代，许多民族大大改变了其头骨形状；毫无疑问，这种习俗的风行乃是由于要夸大某种自然的和受到赞美的特点。据知，许多美洲印第安人赞美极扁的头，它们扁到这样的程度，以致在我们看来好像是白痴的头。非洲西北海岸的土人把头部压成尖圆锥形；而且经常把头发束弄在头顶，打成一个结，正如威尔逊博士所说的，这是为了"增加他们所爱好的圆锥形的明显高度"。若开的居民赞美宽而平的前额，为了"弄成这种形状，他们在新降生的婴儿头上捆扎一块铅板。"相反

① 《非洲随笔》，第2卷，1873年，253、394、521页。有一位传教士曾同火地人长久在一起住过，他告诉我说，火地人以为欧洲妇女非常美丽，但是，根据我们看到的其他美洲土人的判断，我不得不认为这种说法是错误的，除非少数火地人曾同欧洲人一起生活过一段时间，而且他们把我们看作优等的人。我应该补充一点：最有经验的观察家伯尔登船长相信我们认为美丽的妇女在全世界都会受到称赞，《人类学评论》，1864年3月，245页。

② 《个人记事》，英译本，第4卷，518页及其他诸页。曼特加沙在其《拉普拉他旅行记及其研究》中强烈主张这同一原理。

地，斐济群岛的土人却把“宽而十分圆的后头视为至美。”①

对鼻子也像对头骨一样；阿替拉时代的古匈奴人惯于用绷带把婴儿的鼻子捆平，“为了夸大一种自然的形态”。塔希提人②把“高鼻子”视为侮辱的字眼，为了美观，他们把小孩的鼻子和前额压平。苏门答腊的马来人、霍屯都人、某些黑人以及巴西土人也是如此。③ 中国的妇女曾盛行缠足④。最后，洪堡以为美洲印第安人喜欢用红色涂身是为了夸大其自然的色调；直到最近，欧洲妇女还用胭脂和白色化妆品来增添其自然的鲜艳肤色；不过野蛮民族在涂饰自己时一般是否有这种意图，还是一个疑问。

就我们的服装流行式样而言，我们看到了把每一点弄到极端的完全一样的原理和完全一样的愿望；我们还表现了一样的竞争精神。但未开化人的流行式样远比我们的流行式样持久得多；当他们的身体人工地被改变之后，情况必然如此。上尼罗河的阿拉伯妇女要用三天左右的时间去整理头发；她们决不模仿其他部落，“只是彼此竞争，以求得最新颖的式样。”威尔逊博士在谈到各个美洲种族压平其头骨时，接着说道，“在革命的冲击下，可以改朝换代，消灭更为重要的民族特点，但这种习惯最难除尽而且会长久保存

---

① 关于美洲部落的头骨，参阅诺特(Nott)和格利敦(Gliddon)的《人类的模式》，1854年，440页；普里查德，《人类体格史》第1卷，第3版，321页；关于若开土人，同前书，第4卷，537页；威尔逊，《自然人种学》(Physical Ethnology)，史密森协会(Smithsonian Institution)，1863年，288页；关于火地人，290页。卢伯克爵士关于这个问题写过一篇优秀的摘要，见《史前时代》，第2版，1869年，506页。

② 居住在南太平洋的塔希提岛。——译注

③ 关于匈奴人，戈德隆，《论物种》，第2卷，1859年，300页。关于塔希提人魏采，《人类学概论》，英译本，第1卷，305页。皮卡得在其《人类体格史》中引用马斯登(Marsden)的材料，见该书第3版，第5卷，67页。劳伦斯，《生理学讲义》，337页。

④ 此事见《诺瓦拉旅行记》(Reise der Novara)：《人类学评论》，威斯巴哈博士，1867年，265页。

下去。"① 同样的原理在育种技术上也会发生作用；于是我们便能理解那些仅仅作为观赏之用的动物和植物的种族为什么会那样异常发达，我在他处已经说明过这一点。② 动物和植物的爱好者永远要求各种性状仅仅稍为增大而已；他们并不赞美中间的标准，他们肯定不希望他们的品种性状发生重大而突然的变化；他们所赞美的仅仅是他们所习见的那些性状，但他们热烈地希望看到各个特征稍微有一点发展。

人类和较低等动物的感觉似乎是这样构成的：它们都适于欣赏鲜艳的颜色和某些形态以及和谐的、有节奏的声音，并把这些称之为美；但为什么会如此，我们还不知道。要说在人类思想中有任何关于人体美的普遍标准，肯定是不正确的。无论如何，某些爱好经过一定时间可能是遗传的，虽然没有任何证据可以支持这种信念；果真如此，各个种族大概都会有自己先天的审美理想标准。有人主张，③ 丑恶同低等动物的构造接近，对比较文明的民族来说无疑这是部分正确的，这些民族对理智有高度评价；但这种解释不能完全应用于所有的丑恶形态。各个种族的人都爱好他们所习见的东西；他们不能忍受任何重大的变化；但他们喜欢多样化，而且赞美各个特征不趋于极端，④ 只有适度的改变。习惯于接近椭圆形脸庞、端庄容貌、鲜艳肤色的男人们，正如我们欧洲人所知道的，称赞非常发达的这些特征。另一方面，习惯于宽脸、高颧骨、矮鼻子、黑皮肤的男人们却称赞强烈显著这等特点。毫无疑问，所有种类的性状都可能过于发达而超出美的范围之外。因此，完全的美意味着许

---

① 《史密斯协会》，1863 年，289 页。关于阿拉伯妇女的发式，贝克爵士，《尼罗河支流》，1867 年，121 页。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第 1 卷，214 页；第 2 卷，240 页。

③ 沙夫豪森，《人类学文献》1866 年，164 页。

④ 关于美的观念，贝恩先生搜集了约 12 个左右多少不同的学说（见《心理学和道德学》，1868 年，30—314 页）；但是没有一个学说同这里所说的相同。

多性状都以一种特殊方式发生改变，这在每一个种族中大概都是奇迹。正如大解剖学家比夏很久以前所说的，如果每一个人都是在同一个模型里铸造出来的，也就没有美人可言了。如果所有妇女都变得像维纳斯那样美丽，我们将会暂时感到陶醉；但很快我们就要希求变异；一旦我们得到了变异，我们则希求看到某些性状稍微超过现在的普通标准就可以了。

第二十章

人类的第二性征(续)

各个种族的妇女按照不同审美标准连续选择对象的效果——干涉文明民族和野蛮民族进行性选择的诸原因——原始时代有利于性选择的诸条件——人类性选择的作用方式——未开化部落的妇女有选择丈夫的某种权利——体毛的缺如以及胡须的发育——肤色——提要。

我们在前章已经看到,所有野蛮种族都高度重视装饰品、衣服以及外表;并且男子以迥然不同的标准来评定其妇女的美。其次,我们必须研究,那些对各个种族的男子最有魅力的妇女许多世代以来受到这样偏爱,因而受到选择,是否会仅仅改变妇女一方的性状,或改变男女双方的性状。对哺乳动物来说,一般的规律似乎是,所有种类的性状都同等地遗传给雌雄二者;因此,对人类来说,我们可以期待女方或男方通过性选择所获得的任何性状普通都会传递给两性后代。如果这样引起了任何变化,几乎肯定的是,不同种族将会有不同的改变,正如各个种族有它自己的审美标准一样。

关于人类,尤其是关于未开化人,仅就身体构造而言,有许多干涉性选择作用的原因。文明人大部分受到妇女精神魅力以及她们的财富所吸引,尤其受到她们社会地位的吸引;因为男子很少同比自己等级低得多的妇女结婚。能够成功地得到比较美丽妇女的男子,并不见得比那些娶平凡妇女为妻的男子有更好的机会留下

悠长系列的后裔，但按照长子继承权留下遗产的少数人则除外。关于选择的相反方式，即妇女选择比较富有魅力的男子，虽然文明民族的妇女有选择对象的自由，或者差不多有这种自由（野蛮种族没有这种自由），但她们的选择大部分要受男子的社会地位及其财富的影响；而男子在其生涯中获得这种成功主要决定于他们的智力及其精力，或者依靠其祖先由这等能力所获得的成果。比较详细地讨论一下这个问题是理所当然的；因为，正如德国哲学家叔本华所说的，"一切私通的最终目的，不论是喜剧的还是悲剧的，都比人类生活的其他目的更为重要。它所实现的就是下一代的构成……这不是任何个人的幸与不幸，而是同未来人类的存亡攸关。"[①]

然而，有理由相信，在文明民族和半文明民族中，性选择对改变某些人的身体构造曾发生过一些影响。许多人相信，我们的贵族（在这个名词下包括长期实行长子继承权的一切富有家庭）许多代以来从所有阶级中选择比较美丽的妇女为妻，按照欧洲人的标准，他们已经变得比中等阶级更为漂亮，我也认为这种说法是合理的；不过就身体的完全发育来说，中等阶级所处的生活条件同贵族是相等的。库克说，"在太平洋所有其他岛屿上所看到的贵族那样端正的容貌，在桑威奇群岛上则到处可见"；但这种情形可能主要是由于他们的食物以及生活方式较好的缘故。

古时的旅行家查丁在描写波斯人时说道，"他们的血液由于同格鲁吉亚人和塞卡斯人[②]不断地通婚，现在已高度改良了，这两个民族的容貌之美在世界上首屈一指。波斯上等人的母亲大都是格鲁吉亚人或塞卡斯人。"接着他又说，他们的美貌"不是从其祖先那里遗传的，因为如果没有上述通婚，作为鞑靼族后裔的上等波斯人

① 《叔本华和达尔文主义》（Schopenhauer and Darwinism），见《人类学杂志》（*Journal of Anthropology*），1871 年 1 月，323 页。

② 高加索人的一个部落。——译注

大概是极其丑陋的。"①

下述事例虽然是关于未开化人的，由于它的奇特性也值得在此一提。温伍德·里德先生告诉我说，在非洲西海岸有一个黑人部落叫乔洛夫，他们"以其一致的美好容貌而闻名。"他的一个朋友问到其中一人："为什么我遇到的每一个人都这样好看？不仅男子而且妇女都是这样？"乔洛夫部落的人答道，"这很容易解释：长久以来我们有一种风俗，就是把最难看的奴隶挑出来，卖掉他们。"所有未开化人都以女奴为妾，这就无须多说了。这个部落的黑人之所以有如此美好的容貌，应归功于长期不断地汰去那些丑陋的妇女，至于这种做法是对还是错当作别论；不过这种情况并不像最初听到时那样令人感到奇怪；因为，我在别处已经阐明，② 黑人对其家养动物选育的重要性是有充分认识的，我根据里德先生的材料不过补充一个有关这个问题的证据而已。

在未开化人中阻止或抑制性选择作用的诸原因

其主要的原因是，第一，实行所谓杂婚，即乱交；第二，实行杀害女婴的后果；第三，早婚；第四，贱视妇女，待之如奴隶。对这四点必须稍作详论。

现在有人断言，今天还有一些部落实行卢伯克爵士用有礼的言词所谓的杂婚；这就是说，一个部落的男女彼此相互为夫妻。许多未开化人的混乱性生活确是令人吃惊的，但是，在我看来，在我们充分承认他们在任何场合中都实行乱交之前，还需要更多的证

① 这些话引自劳伦斯的《生理学讲义》(Lectures on Physiology)，1822年，393页，他把英国上等阶级的美貌归因于这个阶级的男子长期选择比较美丽的妇女。

② 《动物和植物在家养下的变异》，第1卷，207页。

据。尽管如此，所有最密切研究过这个问题的人①，而且他们的判断远比我的判断更有价值，都相信杂婚（对这个名词有各种不同解释）乃是全世界所通行的普通而原始的形式，其中包括兄弟姐妹的通婚。已故史密斯爵士曾广泛地在南非各地游历，他通晓那里的以及别处的未开化人的风习，他以最强烈的看法向我表示，没有一个种族把妇女视为公共财产的。我相信他的判断大部分是由婚姻这个名词的涵义所决定的。在以下整个讨论中，我是按照博物学者们所说的动物一雌一雄相配的同样意义来使用这个名词的，因此其意义乃是雄者只选一个雌者或为一个雌者所接受，同雌者在繁殖期间或全年生活在一起，并且依照强权利把她据为己有；或者，我是按照博物学者们所说的一雄多雌的物种那样意义来使用这个名词的，其意义乃是一个雄者同若干雌者生活在一起。我们在这里所讨论的就是这种婚姻，因为对性选择的作用来说，这就足够了。但是，我知道上述作者中有些人认为婚姻这一名词意味着受到部落所保护的公认权利。

支持往昔曾经盛行杂婚的间接证据是强有力的，其主要依据为，在同一部落中诸成员之间所使用的亲属关系这一名词意味着和部落的关系，而不是和任何一亲的关系。但是，即使在这里对这个问题扼要地谈一谈，也是范围太大而且太复杂，所以我只能稍微说上几句。在这种婚姻的场合中，或者说在婚姻结合很放纵的场合中，孩子同父亲之间的关系是无法知道的。但如果说孩子同母亲的

① 卢伯克爵士，《文化的起源》，1870年，第3章，特别是60—67页。雷南先生在其极有价值的著作《原始婚姻》（1865年，153页）中谈到，男女的结合"在最古时代是散漫的、暂时的而且在某种程度上是混乱的"。雷南先生和拉卜克爵士就现今未开化人的极其混乱生活搜集了大量证据。摩尔根先生在一篇有关亲属关系分类体系的有趣报告中断言［见《美国科学院院报》（*Proc. American Acad. of Science*），第7卷，1868年2月，475页］，一夫多妻以及所有婚姻形式在原始时代基本上都是不存在的。根据卢伯克爵士的著作，巴霍芬（Bachofen）似乎也相信原始时代曾盛行过群交。

关系也完全受到忽视，则似乎是难以置信的，特别是因为大多数未开化人部落的妇女哺育婴儿的时间要很久。因此，在许多场合中只能通过母系而不是通过父系去追查谱系。但在其他场合中，所使用的名词仅表示和部落的一种关系，甚至不表示和母系的关系。同一部落的具有亲族关系的诸成员共同暴露在所有种类的危险中，由于需要相互的保护和帮助，他们之间的关系似乎可能远比母子之间的关系更加重要得多，因此就会导致专门使用表示上述那种关系的名词；但莫尔根先生相信这种观点决不够充分。

世界各地所用的亲属关系这一名词，按照莫尔根的意见，可以分为两大类，即分类的和描述的——我们所使用的为后一种。分类的体系强烈地导致了如下的信念，即杂婚以及其他极端放纵形式的婚姻最初是普遍实行的。但是，就我所能了解的来说，即使以此为根据，也没有必要去相信绝对乱交的实行；我高兴地得知拉卜克爵士也持有这一观点。男和女就像次级的动物那样，以往在每次生产时都要实行严格的、虽然是暂时的结合，这种场合就像乱交场合那样，在亲属关系这一名词方面会发生差不多一样大的混乱。仅就性选择来说，全部所需要的就是在双亲结合之前实行选择，至于这种结合是终生的或暂时的，并无关紧要。

除了由亲属关系这一名词所得到的证据以外，其他方面的推论也可表明以前曾广泛实行过杂婚。卢伯克爵士用共妻曾为原始交配形式这一点，来说明[①]异系婚姻这一奇特而广泛实行的习俗——即某一部落的男子从另一不同部落夺取妻子；所以，一个男子除非从一个邻近的敌对部落俘虏到一个妻子外，他决不会得到自己专有的妻子，俘虏到一个妇女后，她自然就会变为他专有的宝

① 《在英国学术协会上关于人类低等种族社会状况和宗教状况的讲话》(Address to British Association on the Social and Religious Condition of the Lower Races of Man)，1870年，20页。

贵财产。这样，抢妻之风就兴起了，由于因此可以获得荣誉，这种习俗最终就会普遍实行。按照卢伯克爵士的意见①，我们由此还能理解"根据古老的观念，一个人没有权利占有属于全部落的东西，由于结婚破坏了部落的习俗，所以有赎罪的必要。"卢伯克爵士进一步列举了大量事实来阐明，在古代极端放荡的妇女非常受到尊敬；正如他说明的，如果我们承认乱交曾是原始的，因而长期受到尊重的部落习俗，上述情况就是可以理解的了。

摩尔根先生、伦南先生以及卢伯克爵士曾对此事进行过最严密的研究，根据这三位作者的几点分歧意见，我们可以推论婚姻约束的发达方式还是一个没有弄清楚的问题，虽然如此，但根据上述证据以及若干其他方面的证据②，可知婚姻习俗按其字面的任何严格意义来说，似乎可能是逐渐发展起来的；而且接近乱交的结合，即很放纵的结合在全世界一度是极其普遍的。尽管如此，根据动物界普遍具有的强烈嫉妒感，根据次级动物来类推，特别是根据与人类最接近的动物来类推，我无法相信在人类达到动物界现今等级的不久之前曾经盛行过绝对的乱交。正如我试图阐明的，人类肯定是从某一类猿动物传下来的。关于现存的四手类，仅就所知道的其习性而言，某些物种是一夫一妻的，但每年只有一部分时间同雌者生活在一起；猩猩在这方面似乎提供了一个例子。有几个种类的猿猴，例如某些印度猴和美洲猴都是严格一夫一妻的，而且全年都同妻子生活在一起。另外有些种类是一夫多妻的，例如大猩猩和几个美洲物种就是如此，而且各个家族是彼此单独生活的。即便是这种情形，居住在同一地区的诸家族大概多少还是社会性的；例

① 《文化的起源》，1870 年，86 页。在以上引用的几种著作中可以发现关于单独通过母系的亲属关系以及单独通过部落的亲属关系的丰富证据。

② 韦克强烈反对这三位作者所持的观点——认为往昔曾盛行过接近群交的结合方式，他以为亲属关系的分类体系可用他法来解释(《人类学》，1874 年 3 月，197 页)。

如，黑猩猩偶尔会合成一大群。再者，还有些物种也是一夫多妻的，不过各有其自己雌者的若干雄者共同生活在一起，例如狒狒的几个物种就是如此①。我们知道所有雄性四足兽都是嫉妒的，它们许多都有特殊的武器同其竞争对手进行战斗，我们的确可以据此断言，在自然状况下，乱交是极端不可能的。配偶可能并非终生，但可限于每一次生产；然而，如果雄者是最强壮的而且最能保卫或帮助其雌者和幼者，那么它们就能选择更富魅力的雌者，只此一点就足可以进行性选择了。

因此，回顾远古，且由人类现今的社会性习俗来判断，最合理的观点似乎是，人类在原始时期系以小群生活在一起，每个男人只有一个妻子，如果男人是强者，就有几个妻子，于是他要嫉妒地防备所有其他男人来侵犯他的妻子们。或者，他还没有成为社会性动物，就像大猩猩那样，同几个妻子在一起生活；因为所有土人"都承认在一群大猩猩中只能看到一只成年的雄者；当幼小的雄者长大之后，就会发生争夺统制权的斗争，最强的雄者把其他雄者杀死或赶跑之后，他就成为这一群的首领。"② 这样被赶跑的幼小雄者便到处漫游，如果最后能够找到一个伴侣，大概就可以防止在同一家族的范围内进行过于密切的近亲交配。

虽然未开化人的生活现在是极端放荡的，虽然杂婚在往昔可能盛行过，但许多部落还是实行某种形式的婚姻，但其性质远比文明民族的婚姻松弛得多。正如刚才所说的，每个部落的首领几乎普遍实行一夫多妻。尽管如此，还是有些部落，虽然位于差不多最低

---

① 布雷姆说(《动物生活图解》，第 1 卷，77 页)，阿比西尼亚狒狒(*Cynocephalus hamadryas*)营大群生活，其中成年雌者为雄者的两倍。参阅伦格尔关于美洲一夫多妻物种的叙述，以及欧文(《脊椎动物解剖学》，第 3 卷，746 页)关于美洲一夫一妻物种的叙述。此外还有其他参考材料。

② 萨维奇，《波士顿博物学杂志》，第 5 卷，1845—1847 年，423 页。

的等级，却实行一夫一妻。锡兰的维达人①就是如此；据卢伯克爵士说②，他们有一句谚语："夫妻不死不分离"。康提人的一位酋长自然是一夫多妻的，他对只有一个妻子而且不死彼此不分离的极端野蛮风俗非常抱有反感。他说，"这恰好同乌绵猴相似。"现在实行某种婚姻形式(不论是一夫多妻或一夫一妻)的未开化人是否从原始时代起就保有这种习俗，还是通过乱交的阶段而又返回某种婚姻形式，我不敢妄自猜测。

杀 婴

实行杀婴现今在全世界很普通，有理由相信在古时实行得更为广泛③。野蛮人发现同时养活他们自己和儿童是困难的，简单的办法就是把他们的婴儿杀掉。按照阿沙拉的材料，南美的某些部落以前杀死了如此之多的男女婴儿，以致濒于绝灭的境地。据知，波利尼西亚群岛的妇女要杀掉4至5个、甚至10个自己的孩子；埃利斯在那里未曾发现一个妇女没有杀死过自己孩子的。麦克洛克在印度东部边境的一个村庄竟连一个女孩也未曾发现过。凡是盛行杀婴的地方，生存斗争的剧烈程度就要差得多④，而且部落的所有成员都会有差不多同等良好的机会来养育其幸存下来的少数儿童。在大多数场合中，女婴被杀害的要比男婴为多，因为，对部落来说，男婴显然有较高的价值，在他们长大之后，可以协助保卫部落，

① 锡兰(现名斯里兰卡)最古老的土著。——译注

② 《史前时代》，1869年，424页。

③ 伦南，《原始婚姻》，1865年。特别参阅有关族外婚姻和杀婴部分，130、138、165页。

④ 格兰德博士(《原始民族的消亡》，1868年)搜集了很多有关杀婴的材料，特别参阅27、51、54页。阿沙拉(《游记》，第2卷，94、116页)详细地讨论了其动机。再参阅伦南(同前书，139页)所举出的有关印度的例子。本书第2版在上述一节中不恰当地举出了格雷(Grey)爵士错误的引证，现已删去。

而且能够养活自己。但是，正如妇女们自己以及各观察家所列举的，妇女养育小孩的麻烦，由此而失去她们的美貌，以及妇女数量越少越受到重视而且命运越佳，都是杀婴的另外动机。

当妇女由于杀害女婴而少起来的时候，从邻近部落抢妻的风习自然就会兴起。然而，正如我们已经看到的，拉卜克爵士把抢妻的主要原因归于往昔的杂婚，因此男子就会从其他部落抢妻作为他们自己的私有财产。还可以举出另外的原因，如群体很小，在这样场合中可婚嫁的妇女往往是缺乏的。抢妻的习俗在古代最盛行，甚至文明民族的祖先也实行过抢妻，保存下来的许多奇特风俗和仪式明确地阐明了这一点，关于这等风俗和仪式，伦南先生做过有趣的记载。英国举行婚礼时的“伴郎”最初似乎就是新郎抢妻时的主要帮手。现在只要男子还习惯地通过暴力和诡计来获得他们的妻子，他们大概就乐于占有任何妇女，而不去选择那些比较更有魅力的。但是，如果和一个不同部落用换货的办法来获得妻子，被购买的大概一般就会是比较更有魅力的妇女。然而，任何这种形式的习俗必然要引起部落与部落之间的不断杂交，这就有使同一地方的所有居民保持差不多一致性状的倾向；而且这还会干涉性选择对分化诸部落的力量。

杀害女婴引起妇女的缺少，妇女的缺少又引起一妻多夫的实行，现今在世界的若干地方实行一妻多夫的现象还很普遍，伦南先生相信在往昔几乎全世界都盛行过这种习俗：不过摩尔根先生和卢伯克爵士却对这个结论有所怀疑。① 只要两个或两个以上的男子被迫娶一个女人，这个部落的所有女人肯定都可以结婚，这样就不会有男子选择魅力较大的女人的事情了。但是，在这种情况下，妇女无疑会有选择的权力，她们将挑选魅力较大的男子。例如，阿

① 《原始婚姻》，208 页；卢伯克爵士，《文化的起源》，100 页，再参阅摩尔根上述著作中有关古时盛行一妻多夫的部分。

沙拉描述一个瓜纳人的妇女在接受一个或更多的丈夫之前多么细心地要求各种特权；因而那里的男子非常注意他们自己的容貌。印度的托达人也是如此，他们也实行一妻多夫，女子可以接受或拒绝任何男人①。在这等场合中，很丑的男子恐怕完全不能得到妻子，或者只能在晚年得到；不过，比较漂亮的男子虽然能够更成功地得到妻子，但就我们所知道的来说，他们大概不会比同一个妇女的较不漂亮的丈夫们留下更多的后代以遗传他们的美貌。

早期订婚以及奴役妇女

许多未开化人有一种风俗，当女子还在婴儿的时候就实行订婚；这会有效地阻止男女双方按照容貌去实行选择对象。但是，这不能阻止更强有力的男子在以后把魅力较大的妇女从其丈夫那里把她们偷走或抢走；在澳大利亚、美洲以及其他地方都常常发生这种情形。当妇女几乎完全被视为奴隶或牛马时，就像许多未开化人的情形那样，性选择在一定程度上也会产生同样效果。男子在无论什么时候大概都会按照他们的审美标准去挑选最漂亮的奴隶。

由此我们看到了未开化人所盛行的几种风俗，这一定会大大地干涉或完全停止性选择的作用。另一方面，未开化人所处在的生活条件以及他们的某些习俗则有利于自然选择；这同时对性选择也会起作用。据知，未开化人由于反覆出现的饥馑而受害严重；他们不会用人为的方法去增加食物；他们对婚姻很少限制②，一般在幼小时就结婚了。结果他们一定要不时陷入剧烈的生存斗争，只有

---

① 阿沙拉，《游记》，第2卷，92—95页，马歇尔上校，《在托达人中间》(Amongst the Todas)，212页。

② 伯切尔说(《南非游记》，第2卷，1824年，58页)，在南非各野蛮民族中无论男人或女人没有过独身生活的。阿沙拉(《南美游记》，第2卷，1809年，21页)对南美野蛮印第安人提出了恰好一样的看法。

占有优势的个体才能生存下来。

在很古时期，人类还未达到现在这样阶段以前，他们同现今未开化人所处的许多生活条件都不相同。从次级动物来类推，那时他们实行的不是一夫一妻，就是一夫多妻。最强有力而且最能干的男子最能成功地得到富有魅力的妇女。他们在一般生存斗争中，以及在保卫其妻子儿女不受一切种类的敌害侵袭方面最能获得成功。在这样久远的时期，人类祖先的智力还没有充分进步到可以看到遥远未来的意外事故；他们也不会预见到养育他们的孩子、特别是女孩将会使其部落陷人更加剧烈的生存斗争中。他们比今天的未开化人更多地受到其本能、更少地受到其理性的支配。他们在那一时期不会失去所有本能中最强烈的一种，这是一切次级动物所共有的，即，对他们幼儿的爱；因此，他们不会实行杀害女婴。这样，妇女就不至于缺少，一妻多夫就不至于实行；因为，除了妇女的缺少之外，几乎没有任何原因似乎足以打倒天然的和广泛占有优势的嫉妒感以及每个男子各自占有一个女人的欲望。杂婚或接近乱交的习俗大概是自然由一妻多夫发展而来的；虽然最优秀的权威们都相信乱交的习俗在一妻多夫之前。在原始时代不会有早期订婚，因为这含有预见的意思。那时也不会把妇女仅仅视为有用的奴隶或牛马。如果允许男人和女人实行任何选择的话，男女双方差不多都要完全根据外貌而不是根据精神的美或财产，也不是根据社会地位去选择其配偶。所有成年人都会结婚或找到配偶，所有子女只要可能都会受到养育；所以生存斗争就要周期地异常剧烈起来。于是，在这样时期比在较晚时期——人类在智力上进步、但在本能上退步的时期，所有条件更有利于性选择。因此，在产生人类种族之间的差异以及人类和高等四手类之间的差异方面，无论性选择的影响如何，这种影响大概在远古时期比在今天更为强有力，虽然这种影响在今并未完全消失。

人类性选择的作用方式

关于刚才所说的生活在有利条件之下的原始人类，关于那些在今天实行任何婚姻约束的未开化人，性选择或多或少地受到杀害女婴、早期订婚等等干涉，它大概以下述方式发生作用。最强壮的和精力最充沛的男子——那些最能保卫其家族并为其狩猎的男子，那些拥有最好武器和最大产业（如大量的狗或其他动物）的男子——比同一部落中较弱而且较穷的成员，大概会在平均数量上养育更多的儿女。毫无疑问，这样的男子一般还会选择魅力较强的妇女。现今世界上几乎每一个部落的酋长都能得到一个以上的妻子。我听曼特尔先生说，在新西兰，直到最近，几乎每一个漂亮的女子或者将来可成为漂亮的女子，都是某一酋长的"塔布"①，汉密尔顿先生说②，卡菲尔人的"酋长一般在许多英里范围内挑选妇女，而且不屈不挠地确立或巩固他们的特权"。我们已经看到各个种族都有它自己的美的风格，并且我们知道，如果家养动物、服装、装饰品以及个人容貌稍微超出平均之上，就会受到人们的称赞，这乃是人类的本性。于是，如果上述几项主张得到承认（我看不出其中有什么可疑之处），那么，魅力较大的妇女被力量较强的男子所选择，并且平均养育了较多数量的儿童，要说这样经过许多世代之后还没有使这个部落的特性有所改变，就未免费解了。

如果家养动物的一个外国品种被输入一处新地方，或者，如果一个本地品种作为实用品种或鉴赏品种而长期受到细心的养育，只要采用比较的方法，就可发现经过数代之后就会发生或多或少的变化。这种变化的发生是由于在一长系列的世代中进行了无意

① 即 tabbo，系宗教迷信或社会习俗的禁忌。——译注

② 《人类学评论》，1870 年 1 月，16 页。

识选择的原故——这就是最受称赞的个体被保存下来了——饲养者并没有要求或预期这种结果的发生。再者，如果有两位细心的饲养者多年以来都养育同一家族的动物，而且不使它们相互比较或同一个共同标准比较，那么就会出乎饲养者的意外，他们的动物会出现轻微的差异①。正如冯·纳修西亚斯所恰当表达的那样，每位饲养者已把他自己的心理特性——他自己的爱好和判断刻印在他的动物之上。那么，如果说每一部落中能够养育最多小孩的男子连续选择最受赞美的妇女，而不会产生与上述同样的结果，实无理由可举。这大概就是无意识选择，因为无意识选择会产生一种效果，而同偏爱某些妇女的男子的任何要求或期望无关。

假定有一个部落的成员实行某种形式的婚姻，散布于无人居住的大陆上，他们很快就会分裂成不同的群，彼此被各种壁垒所隔离，由于所有野蛮民族之间的不断战争，这种隔离就更加有效。这些群将处于稍微不同的生活条件和生活习俗之下，他们迟早会在某种微小程度上出现差异。一旦这种情形发生，各个隔离的部落就会形成它自己的稍微不同的审美标准②；于是，通过比较强有力且居于领导地位的男子挑选他所喜爱的妇女，无意识选择就要发生作用。这样，部落之间的差异在最初虽很轻微，但会逐渐地而且不可避免地有所增大。

关于在自然状况下的动物，雄者所固有的许多特性，如力气、特殊武器、勇敢以及好斗性，是依照斗争法则而获得的。人类的半人祖先，就像其亲缘关系相近的动物——四手类那样，几乎肯定也是这样变异的；由于未开化人现在依然为了占有妇女而进行争斗，

① 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，210--217页。

② 一位富有才华的作者主张，从意大利画家拉菲尔(Raphael)，荷兰画家鲁宾斯(Rubens)以及近代法国画家们的绘画来看，美的概念即使在欧洲也绝对不同，参阅《海登和莫扎特的生平》(Lives of Haydn and Mozart)，旁贝特(Bombet)著，英译本，278页。

一种相似的选择过程大概或多或少地一直延续到今天。低等动物雄者所固有的其他特性，如鲜明的体色以及各种装饰物，乃是由于雌者挑选她们所喜爱的魅力较大的雄者而获得的。然而也有例外的情形，即雄者选择雌者，而不是被雌者所选择。根据雌者比雄者的装饰更为高度——她们的装饰特性完全地或者主要地传递给雌性后代，我们便可认识上述那种情形。在人类所属的灵长目中有一个这样的例子，那就是恒河猴。

男人在肉体和精神方面都比女人更强有力，而且在未开化状态下男人对女人的管束远远超过任何其他动物的雄者；所以他应该得到选择的权力，就不足为奇了。各地的妇女都会意识到其美貌的价值，当有办法的时候，她们比男人更喜欢用各种各样的装饰物来打扮自己。由于妇女因其美貌而长期受到选择，因此她们的某些连续变异应该完全传递给同一性别，就没有什么奇怪了；结果是，她们把美貌传递给女性后代的，在程度上应稍高于传递给男性后代的，按照一般的意见，她们这样就会变得比男子更美。然而，妇女肯定要把大多数特性传递给男女后代，其中包括某种美貌在内；所以各个种族的男子按照他们的审美标准，挑选他们所喜爱的魅力较大的妇女，将有助于按照同样方式来改变这个种族的男女。

关于性选择的另一种方式（低等动物实行这种方式的要多得多），即，雌者选择雄者，而且只接受那些最能使她们激动或魅力最强的雄者，我们有理由相信这种性选择的方式以前曾对我们的祖先发生过作用。人类的胡须恐怕还有某些其他性状，多半是从一个古代祖先那里遗传来的，这个祖先由此得到了装饰。但是，这种选择方式可能是在较晚时期偶尔实现的；因为在极端野蛮的部落中，妇女在选择、拒绝和引诱其情人方面，以及此后在更换其丈夫方面，所拥有的权利之大可能超出了我们的预料之外。这一点具有一定的重要性，所以我将详细地举出我所能搜集到的这类证据。

赫恩描述过美洲近北极地方有一个部落的妇女，如何屡屡从

她的丈夫那里跑掉去同情人相聚；按照阿沙拉的材料，南美的卡鲁阿人①可以完全自由地离婚。阿比朋人②的男子当选中一个妻子时要同她的父母商定她的身价。但是，“屡屡发生的是，这个女子会取消双亲和新郎达成的协议，顽固地拒绝这个婚事。”她常常跑走，隐匿起来，以逃避新郎。莫斯特斯上尉曾同巴塔哥尼亚人一齐生活过，他说，他们的婚姻永远是根据个人意愿来决定的；“如果双亲所许的婚事同女儿的意愿相违，她就会加以拒绝，决不被迫去服从。”在火地岛，一个青年男子先要给女方的父母做些事情以求得他们的同意，这时他就试着把女子带走；“但如果她不愿意，她就躲藏在森林之中，直至求婚者倦于寻找而后已；不过这种情形很少发生。”在斐济群岛，男子真正地或假装地用武力去占有他要使其作为妻子的妇女；但是“当到达这位劫持者的家中时，如果她不赞同结婚，她即跑到能够保护她的某人那里；如果她满意了，就可立刻成婚。”关于蒙古人，新娘和新郎按照规定要进行一场竞跑，而且新娘公平地先起跑；“克拉克肯定地说道，除非她对追逐者有所爱好，就不会发生女子被捉到的情况。”在马来群岛的野蛮部落中，也有竞跑求婚的；卢伯克爵士说，根据包林的记载，“竞跑并非迅速者获胜，战斗也并非强者获胜，胜利归于能够取悦新娘的运气好的青年。”亚洲东北部的高拉克人盛行一种相似的风俗，其结果亦相同。

再来看看非洲：卡非尔人有买妻的习俗，如果女子不愿接受父亲为其择定的丈夫，就要受到父亲的毒打；但是，根据斯库特尔牧师所举出的许多事实来看，那里的女子显然还有相当的选择权利。这样，很丑的男人，虽然富有，据知也找不到妻子。当女子同意订婚之前，她要迫使男子先从前方，然后从后方来显示自己，而且还要

① 印第安人的一个部落，在哥伦布以前的时代，他们分布在乌拉圭一带。——译注

② 居住在巴拉圭平原上的一个部落，现已成为说西班牙语的混血儿。——译注

他们“表演步态”。据知她们也向男子求婚，而且同心爱的情人一齐逃走的并不罕见。再者，莱斯利先生非常了解卡菲尔人的情况，他说，“如果想象那里的父亲在出卖女儿时，其方式就像处理一头母牛那样，而且拥有同样的权威，那将是一个错误。”

在衰退的南非布西门人中，“当一个女子达到成年而尚未订婚时，（这并不常见），她的情人必须取得她的同意，也要取得她父母的同意，才能成婚。”① 温伍德·里德先生为我做过有关西非黑人的调查，他告诉我说，“那里的妇女得到她们所愿嫁给的丈夫并不困难，至少比较聪明的沛根部落是如此，但向男子求婚被看作是不符合女人身份的。她们完全能够恋爱，显示温柔、热烈而忠实情感。”关于这种情形，还可举出另外一些例子。

由此可以看出，并非像常常设想的那样，未开化人的妇女在婚姻方面是完全处于屈从地位的。无论在婚前或婚后，她们可以诱惑所喜爱的男人，而且有时可以拒绝她们讨厌的男人。妇女的这种选择如果稳定地朝着任何一个方向发生作用，最终就会影响这个部落的特征；因为妇女不仅按照她们的审美标准一般选择漂亮的男人，而且选择那些同时最能保卫和养活她们的男人。这样秉赋良好的配偶比秉赋较差的，通常能养育较多的后代。如果男女双方都实

① 阿沙拉，《游记》，第2卷，23页。多布瑞佐弗尔（Dobrizhoffer），《关于阿比朋人的记载》（An Account of the Abipones，）第2卷，1822年，207页。玛司特斯船长，《皇家地理学会会报》（*Proc. R. Geograph. Soc.*），第15卷，47页，威廉斯（Williams）关于斐济岛民的叙述，卢伯克引用，见《文化的起源》，1870年，79页。关于火地人，金和菲茨罗伊（King and Fitzroy），《探险号和贝格尔号航行记》（Voyages of the Adventure and Beagle），第2卷，1839年，182页。关于蒙古人，雷南在《原始婚姻》中的引文，1865年，32页。关于马来人，卢伯克，同前书，76页。舒特（Shooter）牧师，《关于卡菲尔人和纳塔尔人》（On the Kaffirs and Natals），1857年，52—60页。莱斯利先生，《卡菲尔人的特性和风俗》（Kaffir Character and Customs），1871年，4月。关于布西门人，伯切尔，《南非游记》，第2卷，1824年，59页。关于高拉克人，韦克先生在《人类学》（1873年10月，75页）中引用麦克肯南（McKennen）之说。

行这种选择，显然会以更加显著的方式产生同样结果；这就是说，魅力较大的而且力量较强的男人喜爱魅力较大的女人，而且被后者所喜爱。这种双重的选择方式似乎实际发生过，尤其是在我们悠久历史的最古时期更加如此。

现在我们稍微仔细地考察一下区分若干人类种族以及区分人类种族和较低等动物的某些特性，即：体毛的多少缺如以及皮肤的颜色。

关于不同种族在面貌和头骨形状方面的巨大多样性，我们没有必要再说什么了，因为我们在前一章已经看到对这些方面的审美标准是何等不同。因此，这等特性大概会受到性选择的作用；但我们无法判断这种作用主要来自男方，抑或来自女方。

体毛的缺如以及面毛和头发的发育

根据人类胎儿的柔毛，即胎毛，并且根据在成熟期散布于身体各部的残迹毛，我们可以推论人类是从生下来就有毛而且终生如是的某种动物传下来的。毛的消失对人类来说是不方便的，而且可能是有害的，甚至在炎热气候的情况下也是如此，因为人类这样就会暴露在太阳的灼热以及骤然寒冷之中，在多雨的天气里更加如此。正如华莱士先生所提出的，所有地方的土人都喜欢用某种轻的覆盖物把裸露的背部和肩部保护起来。没有人设想皮肤的无毛对人类有任何直接的利益；因此，人类体毛的消失不会是通过自然选

择而实现的[①]。正如以前一章所阐明的，我们没有任何证据可以阐明这是由于气候的直接作用而发生的，而且这也不是相关发育的结果。

体毛的缺如在某种程度上是一种第二性征；因为世界一切地方的妇女都比男子少毛。因此我们可以合理地设想这种性状乃是通过性选择获得的。我们知道有几个猴的物种，其面部无毛，另有几个物种的臀部的大片表面无毛；我们可以稳妥地把这一点归因于性选择，因为这等表面不仅颜色鲜明，面且像雄西非山魈和雌恒河猴那样，某一性别的这种颜色比另一性别的要鲜明得多，在繁殖期间尤其如此。巴特利特先生告诉我说，当这等动物逐渐到达成熟时，这等无毛表面在同身体大小的相比下要变得大些。然而，毛的消除似乎并非为了裸的原故，而是为了可以更加充分地显示那一块皮肤的颜色。再者，有许多鸟类，其头部和颈部的羽毛好像通过性选择被拔掉了，借以表现其颜色鲜明的皮肤。

由于妇女的体毛比男子的为少，而且由于这一性状是一切种族所共有的，我们可以断言，最初失去毛的乃是我们半人的女祖先，并且这在若干种族从一个共同祖先分歧出来之前的极其遥远的古代就发生了。当我们女祖先逐渐获得这种新的无毛性状时，她们一定把这种性状几乎同等地传递给她的男女后代，所以这种性状的传递，就像许多哺乳类和鸟类的装饰物那样，既不受性别的限制，也不受年龄的限制。我们类猿的祖先把毛的局部消失视为一种装饰，并不奇怪，因为我们已经看到所有种类的动物把大量的奇异

① 《对自然选择学说的贡献》，1870年，346页。华莱士先生相信（350页），“某种智力支配了或决定了人类的发展”；他认为皮肤的无毛状态应归属于这个问题之下。斯特宾（Stebbing）在评论这一观点时说道（《德文郡科学协会会报》，1870年），如果华莱士先生“没有用其敏锐的眼光来观察人类无毛皮肤这一问题，那么他大概会看到对无毛皮肤的选择可能是通过这种至美或健康所必需的非常清洁”。

性状视为装饰，而且结果是通过性选择得到了这等性状。同时这样会获得稍微有害的性状也不奇怪；因为我们知道某些鸟类的羽饰以及某些公鹿的角就是如此。

在以前一章中曾提到，有些类人猿的雌者，其体部底面的毛比雄者的略少；这或许是毛的消失过程的开始。关于通过性选择来完成这一过程，我们最好记住新西兰的一句谚语，"妇女不嫁多毛的男子"。凡是看过暹罗多毛家庭照的人，都会承认妇女的异常多毛真是丑得滑稽。为此暹罗国王曾不得不用钱来诱使一个男子去娶这个家族的多毛长女；而且她果然把这一性状传给了其后代①。

有些种族远比其他种族的毛多，尤其男人更加如此；但千万不要假设，比较毛多的种族如欧洲人比毛较少的种族如外蒙古人或美洲印第安人更加完全地保持了他们的原始状态。更加可能的是，前者的多毛乃是由于局部的返祖；因为在某一既往时期长久遗传的性状永远是容易返祖的。寒冷的气候在导致这种返祖方面好像没有什么影响；但在美国生活了几代的黑人② 以及在日本列岛的北部诸岛居住的虾夷人可能是例外。不过遗传法则是如此复杂，以致我们很少能理解其作用。如果某些种族的较强多毛性是返祖的结果，不受任何选择形式的抑制，那么它的极端变异性即使在同一

① 《动物和植物在家养下的变异》，第2卷，1868年，327页。

② 《关于美国士兵的军事学和人类学的统计之研究》，古尔德著，1869年，568页：——当2129名黑人以及有色人种士入浴时，曾对他们体毛的多少进行过细致的观察；粗略地看一下已发表的表格，就可知道"白人和黑人在这方面如果有任何差异的话，显然也是微乎其微的"。然而，黑人在其非洲本土热得多的地方，他们的体部是显著无毛的。应该特别注意到纯种黑人和黑白混血儿均列入上述数字之中；这是一件不适当的事情，因为，根据一项原理——我在他处已经证实了它的正确性，人类的杂交种族显著容易返归其早期类猿祖先的原始多毛性状。

种族的范围内也就不值得加以注意了[1]。

关于人类的胡须，如果求助于我们的最好向导——四手类，我们就可看到许多物种雌雄二者的胡须是同等发达的，但有些物种仅限于雄者有胡须，或者其胡须比雌者的更为发达。根据这一事实，并且根据许多猴类头毛的奇特排列及其鲜明颜色，正如以前所解释的，非常可能是雄者最先通过性选择获得了它们的胡须作为装饰，并在大多数场合中把胡须同等地或差不多同等地传递给男女后代。根据埃舍里希特的材料[2]，我们知道人类的男女胎儿在面部、特别在嘴的周围生有很多胎毛；这暗示着我们是从雌雄双方均有胡须的祖先传下来的。因此，最初看来，男人可能从很古时期以来就有胡须，而且女人在其体毛差不多完全失去的同时也失去了其胡须。甚至我们胡须的颜色似乎也是由类猿祖先遗传下来的；因为，如果头发和胡须的色调有任何差异的话，在所有猴类以及人类中总是胡须的颜色较淡。在四手类中，如果雄者的胡须大于雌者的，前者的胡须只是在成熟期才充分发育，恰好人类亦复如此；人类所保持的可能只是较晚的发育阶段。与人类从古代就保持胡须这一观点相反的是在不同种族，甚至在同一种族中胡须巨大变异性的事实；因为这暗示着返祖——长久亡失的性状在重现时很容易变异。

我们千万不要忽视性选择在较晚时期所起的作用；因为我们知道，关于未开化人，无须种族的男子把胡须视为可憎，煞费苦心

---

① 本书中受到最大反对的观点即为，关于人类毛的消失乃是通过性选择的上述说明（例如，参阅施彭格尔(Spengel)，《达尔文主义的发展》，Die Fortschritte des Darwinismus，1874年，80页）；但是，同一些事实相比，没有一个反对的论点在我看来是有很大分量的，这些事实表明在人类以及某些四手类中皮肤无毛在一定程度上是一种第二性征。

② 《论人类体部的无毛》(Ueber die Richtung der Haare am Menschlichen Körper)，见米勒的《解剖学和生理学文献集》(*Archiv für Anat. und Phys.*)，1837年，40页。

地把脸上每一根毛都拔掉，而有须种族的男子对他的胡须则感到骄傲。毫无疑问，妇女也有这种感情，倘如此，则性选择在较晚时期几乎不会不发生一些作用的。长期不断的拔毛习惯可能产生遗传的效果。布朗-塞夸博士已经阐明，以一种特殊方法对某些动物实行手术，它们的后代会受到影响。还可举出进一步的证据来证明切断手术的遗传效果；不过沙尔文先生① 最近确定的一个事实同现在这个问题有更直接的关系；因为他曾阐明，摩特鸟习惯地把两支中央尾羽的羽支咬掉，于是这两支尾羽的羽支天然地缩小了②。

至于许多种族的头发怎样发达到现在这样的巨大长度，还难于形成任何判断。埃舍里希特说③，人类胎儿的面毛在第五个月的时候比头发长；这表明我们的半人祖先不具长发，所以长发一定是后来获得的。不同种族的头发长度有巨大差异，这同样也表明了上述情况；黑人的头发犹如卷毛的绒毯；欧洲人的头发很长，而美洲土人的头发触及地面者并不罕见。瘦猴属一些物种的头发长度中等，这大概作为装饰之用，而且是通过性选择获得的。同样的观点恐怕可以引伸到人类，因为我们知道，无论现在和以往，长发都受到特别赞美，在几乎每一位诗人的作品中都可能看到这一点，圣保罗说，“妇人具长发，乃彼之殊荣”；而且我们已经看到，在北美，一个人被选为酋长完全是因为他有长发的原故。

皮肤的颜色

关于人类的皮肤颜色通过性选择发生变异的最好证据尚不多

① 《关于翠鴗》(*Momotus*)的尾羽，见《动物学会会报》，1873 年，429 页。

② 斯普罗特(Sproat)先生提出过同样的观点，见《未开化人生活的景象及其研究》(Scenes and Studies of Savage Life)，1868 年，25 页。有些人种学者相信头骨的人工改变倾向于遗传，日内瓦的戈斯即为其中的一人。

③ 《论人类身体的无毛》，40 页。

见；因为在大多数种族中男女在这方面没有差异，在另外一些种族中，正如我们已经看到的，仅有轻微的差异。然而，我们根据已经举出的许多事实得知，所有种族的男子都把皮肤的颜色视为美的高度重要的组成部分；所以它很可能是一种通过性选择而发生变异的性状，许多低于人类的动物所发生的大量事例正是如此。如果说黑人的乌黑发亮的肤色大概是通过性选择获得的，乍看起来，这似乎是一种奇怪的设想；但这一观点得到了各种类似情况的支持，而且我们知道黑人赞美他们自己的肤色。关于哺乳动物，如果雌雄在颜色方面有所差别的话，往往雄者是黑的，或者比雌者的颜色暗得多；这种颜色或任何其他颜色究竟向雌雄双方传递或只向一方传递，仅仅决定于遗传形式。僧面猴具有乌黑发亮的皮肤、滚滚转动的白色眼球以及头顶的分开的头发，俨然是黑人的雏形，其状显得滑稽。

各种猴的面部颜色的差别比人类各个种族的这种差别大得多；我们有某种理由相信，它们皮肤的红色、青色、橙色、接近白色和黑色，甚至雌雄二者都呈现这等颜色，都是通过性选择获得的，此外，皮毛的鲜明颜色以及头部的装饰性簇毛也是如此。由于生长期间的发育顺序一般表明一个物种的诸性状在以前各代中发育和变异的顺序；而且由于人类各个种族新生婴儿虽然完全无毛，他们的肤色差别并不像成年人那样大，所以我们还有某种微小的证据可以证明不同种族的肤色是在毛的消失之后获得的，而毛的消失一定是在人类历史的很古时期。

提　要

可以断言，同女人相比，男人的体格、力气、勇气、好斗性以及精力均较大，这些都是在原始时代获得的，而且此后主要通过男人为了占有女人所进行的争斗而增大了。男子较强的智力和发明力

大概是由于自然选择的作用，而且结合着习性的遗传效果，因为最有才干的男子们将会最成功地保卫自己以及妻子儿女。就我们对这个极其错综复杂问题所能做出的判断来说，看来人类的男性似猿祖先获得他们的胡须似乎是作为一种装饰以魅惑或刺激女人，而且这种性状只向男性后代传递。女人最初失去她们的体毛显然也是作为一种性的装饰；不过她们把这种性状几乎同等地传递给男女双方。女人在其他方面为了同一目的和按照同一方式发生变异并不是不可能的；所以女人获得了比较甜蜜的声音，而且比男人漂亮。

值得注意的是，就人类来说，在许多方面适于性选择的条件，在远古时期——当人类刚刚达到人的状态时——比在较晚时期更加有利得多。正如我们可以稳妥地做出的结论，这是因为那时的人类更多受到本能的情欲所支配，较少受到预见或理智所指引。他将以妒嫉之心去监视他的妻子或妻子们。他不实行杀婴；不把他的妻子们看作有用的奴隶；也不在婴儿时期就实行订婚。因此，我们可以推论，仅就性选择来说，人类种族的分化主要是在远古时代；这个结论对下述值得注意的一个事实提供了说明，即：在有史的极古时代人类种族之间的差异已经差不多或者完全和今天一样了。

关于性选择在人类历史中所起的使用，已在这里摆出了一些观点，不过这些观点还缺少科学的精确性。凡不承认在次级动物场合中也有这种作用的人将会无视我在本书第三部分中所写的有关人类的一切。我们无法肯定地说，这一性状如此变异了，而那一性状并未如此变异；然而已经阐明，人类种族彼此之间以及和其亲缘关系最近的动物之间在某些性状上有所差别，而这些性状就他们的日常生活习性来说并无用处，而且极其可能是通过性选择发生变异的。我们已经看到，各个未开化部落的人们都赞美其自己的特征，——头和脸的形状，颧骨的方形，鼻的隆起或低平，皮肤的颜色，头发的长度，面毛和体毛的缺如，以及大胡子等等。因此，这等

性状以及其他这样的性状都是缓慢而逐渐扩大的，它们的扩大乃是由于各个部落中比较强有力而且比较有才干的男子成功地养育了最大数量的这等后代，并且选择了特征最强烈的，因而魅力最大的妇女作为他们的妻子。在我来说，我可断言，导致人类种族之间在外貌上有所差别的所有原因，以及人类和次级动物之间在某种程度上有所差别的所有原因，其中最有效的乃是性选择。

第二十一章

全书提要和结论

人类起源于某一较低类型的主要结论——发展的方式——人类的系谱——智能和道德官能——性选择——结束语

简短的提要足可以引起读者们对本书一些比较突出之点进行回忆。在已经提出的诸观点中，有许多是高度推测的，无疑还有些将被证明是错误的；但是，我在每一个场合中都举出了导致我为什么主张这一观点而不主张别的观点的理由。关于进化原理对人类自然史中的一些比较复杂问题究竟能解释到怎样程度，似乎值得试着在这里讨论一下。虚假的事实对科学的进步危害极大，因为它们往往持续长久；但受到某种证据支持的虚假观点则危害很小，因为每一个人都乐于证明它的虚假性，这是有益的；当这样做了之后，则通向错误的那一条路被关闭了，而通向真理的那一条路便往往同时敞开了。

这里所达到的主要结论是，人类起源于某种低等的类型，这一结论现在已得到了许多有正确判断能力的博物学者们的支持。这一结论的根据决不会动摇，因为人类和较低等动物之间在胚胎发育方面的密切相似，以及它们在构造和体质——无论是高度重要的，还是最不重要的——的无数之点上的密切相似，还有，人类所保持的残迹（退化）器官，他们不时发生畸形返祖的倾向，都是一些无可争辩的事实。这等事实久已为人所知，但直到最近，它们对人

类的起源并没有提供什么说明。现在当使用我们对整个生物界的知识来进行观察的时候，这等事实的意义就十分清楚了。如果把这等事实同其他事实联系起来加以考虑，例如，同一类群的诸成员之间的相互亲缘关系，他们在过去和现在的地理分布，以及他们在地质上的演替，那么，伟大的进化原理就可以明确而坚定地站得住了。一个人如果不像未开化人那样满足于把自然现象看作是不相联系的，他就不会再相信人类是特殊创造作用的产物。他将被迫承认，人的胚胎同狗的胚胎密切相似——人的头骨、四肢以及整个构造同其他哺乳动物这等部分的设计是相同的，不管这等部分的用途如何，都是如此——不时重现各种构造，例如人类不正常具有的、而为四手类所共有的几块肌肉的重现——所有这些点都以最明确的方式引出了下述结论，即：人类和其他哺乳动物乃是一个共同祖先的同系后裔。

我们已经看到，人类在身体的一切部分以及在心理官能上不断地表现个体差异。这等差异或变异就像在较低类型中那样，似乎都是从相同的一般原因诱发的，而且都是服从相同的法则。相似的遗传法则适用于上述双方。人类增加速度有大于食物增加速度的倾向；结果他们就要不时地陷入剧烈生存斗争之中，而自然选择就会在它所及的范围内发生作用。对自然选择的工作来说，连续而强烈显著的相似变异决不是必需的；个体中轻微而彷徨的变异就足够了；我们没有任何理由可以设想同一物种体制的一切部分有同样程度地发生变异的倾向。我们可以肯定的是，身体各部分长期连续的使用或不使用的遗传效果将会按照自然选择的同一方向发挥重大作用。已往具有重要性的变异，现在虽然没有任何特殊用途，还是长久遗传的。当某一部分发生变异时，其他一些部分就会按照相关原理发生变化，关于这一点，我们可以举出许多奇妙的相关畸形来说明。多少可以归因于周围生活条件如丰富食物、炎热或潮湿的直接而一定的作用；最后，生理上不很重要的许多性状，以及生

理上确很重要的一些性状，都是通过性选择获得的。

毫无疑问，人类以及其他各种动物还具有这样一些构造，按照我们有限的知识来看，它们无论现在或以往对一般的生活条件或两性关系都没有任何用处。这等构造都不能由任何形式的选择或身体各部分使用和不使用的遗传效果得到解释。我们知道，家养的动物和植物偶然在构造上出现许多奇异而强烈显著的特性，如果它们的未知原因更加一致地发生作用，这等特性大概会为这个物种的一切个体所共有。关于这等偶然变异的原因，我们可以希望今后会多少有所理解，尤其是通过对畸形的研究，更可以如此。总之，我们所能说的仅是，导致各个轻微变异和各个畸形的原因，由于生物体质的要远远超过由于周围条件的性质；虽然变化了的新条件在激发许多种类的生物变化上肯定会起重要的作用。

通过上述方法，恐怕还要借助于其他未发现的原因，人类才会上升到今天这样的地位。但是，自从人类达到人的等级以后，人类就分歧为不同的种族。尽管如此，所有种族在非常多的不重要细微构造上以及在非常多的心理特性上还是彼此一致的，以致只有根据从一个共同祖先遗传的道理，这等构造和特性才能得到解释；而一个具有这样特征的祖先大概值得列入人的等级的。

千万不要设想，每一种族同其他种族的歧异，以及所有种族同一个共同祖先的歧异，都可以向后追溯到任何一对祖先配偶。反之，在变异过程的每一阶段，无论在任何方面能够更好地适应它们生活条件的所有个体，虽然其程度有所不同，都比适应较差的个体能够存活下来的数量较大。人类并非有意识地选择家畜的特殊个体，而是用所有优秀的个体进行繁育，遗弃那些低劣者，人类的变异过程也与此相像。这样，人类就会缓慢而稳定地改变其种族，并且无意识地形成一个新族系。至于不是由于选择获得的变异，而是由于有机体性质和周围条件作用或生活习性变化获得的变异，没有任何一对配偶的改变大于在同一地方居住的其他配偶的改变，

因为所有个体通过自由杂交将不断地混合在一起。

根据人类的胚胎构造，——人类和次级动物的同原器官——人类所保留的残迹（退化）器官——返祖的倾向，我们便能想象到我们早期祖先的往昔状态；并且能够大致地把他们放在动物系列中的适当地位。于是，我们可以知道人类起源于一个身体多毛的、有尾的四足兽，大概具有树栖的习性，是居住在旧世界中的。如果一位博物学者对这种动物加以检查，大概会把它分类在四手目中，其确切程度正如把旧世界和新世界猴类的更古祖先分类在这一目中一样。四手目和所有其他高等哺乳动物大概来自一种古代的有袋动物，有袋动物经过一长系列的形态分歧，来自某一与两栖类相似的动物，而这种动物又来自某一与鱼类相似的动物。我们可以看到，在朦胧的过去，所有脊椎动物的早期祖先一定是一种水生动物，有鳃，雌雄同体，而且其身体的最重要器官（如脑和心脏）是不完全的或是不发达的。这种动物同现存海鞘类的相像，似乎胜于同任何其他已知类型的相像。

当我们做出有关人类起源的这样结论之后，最大的难题便是人类的智力和道德倾向何以达到如此高的标准。不过，凡是承认进化原理的每一个人都必须看到，高等动物同人类的心理能力，虽然程度非常不同，但性质无异，是能够进步的。例如，在某一高等猿类和某一鱼类之间或一种蚂蚁和蚧虫之间心理能力的间隔是巨大的；然而它们的发展并没有任何特别困难；因为，就我们的家养动物来说，心理官能肯定是可变异的，而且这种变异是遗传的。谁也不会怀疑心理能力对自然状况下的动物具有极度重要性。因此，外界条件对心理能力通过自然选择的发展是起促进作用的。同样的结论可以引伸到人类；智力对人类一定是高度重要的，甚至在很古时代也是如此，它能使人类发明和使用语言，制造武器、器具、陷阱等等，在其社会的习性帮助下，人类很久以前就成为一切生物的最高支配者。

一旦半技术和半本能的语言被运用之后，智力的发展紧跟着就阔步前进了；因为，语言的连续使用将对脑发生作用，并产生一种遗传效果；反过来这又会对语言的进步发生作用。昌西·赖特说得好①，同次级动物相比，人脑按其身体的比例来说是大的，这种情形主要应归因于某种简单形式的语言之早期使用——语言是一种不可思议的机器，它能给各种物体和各种性质做上记号，并引起思想的连锁；单凭感觉的印象，思想连锁决不能发生，即使发生也不能进行到底。人类的较高智力，如推理、抽象作用、自我意识等等，大概都是因其他心理官能的不断改进和运用而产生的。

道德属性的发展是一个更加有趣的问题。其基础建筑在社会本能之上，在社会的本能这一名词中含有家庭纽带的意义。这等本能是高度复杂的，在次级动物场合中，有进行某些一定活动的特别倾向；但其更重要的组成部分还是爱，以及明确的同情感。赋有社会本能的动物乐于彼此合群，彼此警告危险，以及用许多方法彼此互保和互助。这等本能并不扩展到同一物种的一切个体，而只扩展到同一群落的那些个体。由于这等本能对物种高度有利，所以它们完全可能是通过自然选择而被获得的。

有道德的生物能够反省其过去的行为和动机——能够赞同这个，反对那个；人之所以值得称为人者，即在于人类和次级动物之间的这种最大区别。但是，我曾在第四章试图阐明，道德观念起源于：第一，社会本能的持续和恒久存在；第二，人类在意同群诸人的称赞和非难；第三，人类心理官能的高度活动以及对过去的印象鲜明，而且人类同次级动物的区别即在于后面这几点。由于这种精神状态，人类不可避免地要瞻前顾后，并把过去的印象加以比较。因此，当某种暂时的欲望和激情抑制了其社会本能之后，一个人就要

① 《论自然选择的范围》(On the Limits of Natural Selection)，见《北美评论》，1870年10月，295页。

反省对这种过去冲动的现已减弱的印象，并把这等印象同恒久存在的社会本能加以比较；于是他感到不满，这是所有不满的本能留给他的，所以他决定将来不再有这样行为——这就叫作良知。任何一种本能如果永久地强于另一种本能，而且持续较长，这种本能就会引起我们用语言来表达的"应该遵从它"的那种感情。一只向导猎狗如果能够反省其过去行为，它大概会对自己说，我应该（恰如我们说给它的那样）示明那只山兔的所在，而不应屈从于一时的诱惑去猎捕它。

社会性的动物局部地受到一种愿望所驱使，这就是以一般方式对其同群成员进行帮助的愿望，但更为普通的是履行某些一定的行为。人类同样也被帮助其同伙的一般愿望所驱使；但只有很少特别为此的本能，或者根本没有这种本能。人类和次级动物之间的区别还在于前者有用语言表达自己愿望的能力，这就成为需要帮助和给予帮助的引导。人类给予帮助的动机同样也发生了重大改变：它已不再单纯是盲目的本能冲动了，而是大大地受到其同伙的称赞或谴责的影响。对称赞和谴责的鉴别以及称赞和谴责的给予都是建立在同情之上的；正如我们已经看到的，这种情绪是社会本能的最重要组成部分。同情虽然是作为一种本能被获得的，还是由于使用或习惯而大大被加强了。由于所有的人都希望有自己的幸福，所以对行为和动机所给予的称赞或谴责都是以它们能否导致幸福这一目的来决定的，由于幸福是公共利益的一个重要部分，所以最大幸福原理就会作为是非的基本稳妥标准而间接地发生作用。由于推理能力的进展以及经验的获得，就会察觉到某种一系列行为对个人性格以及公共利益所发生的更为遥远的作用；于是自尊的美德就会放在舆论范围之中而受到称赞，反者就要受到谴责。但就文明较低的诸民族来说，理性常常出现错误，许多坏风俗和愚蠢的迷信也会放在同样的舆论范围之中。

一般认为道德官能比智力具有更高的价值，这种看法是正当

的。但是，我们应该记住，在鲜明地回忆过去的印象时，心理活动乃是良知的、根本的、虽是第二位的基础。这就提供了一个最强有力的论据，表明每一个人的智能都是通过各种可能的途径受到教育和激发的。毫无疑问，一个心理迟钝的人，如果他的社会感情和同情心十分发达的话，也会被引导有良好的行为，而且可以有相当敏锐的良知。但是，无论什么情况，只要能使想象更为鲜明并使回忆和比较过去印象的习性加强，就会使良知更加敏锐，甚至多少可以对衰败的社会感情和同情心有所补偿。

人类的道德本性之所以能够达到今天这样的标准，部分是由于推理能力的进步，因而引起公正舆论的进步，特别是由于通过习性、范例、教育以及反省，他的同情心变得更加敏感而且广泛普及。美德的倾向经过长期实践之后并不是不可能遗传的。就文明较高的种族来说，笃信一位无所不察的神的存在，对道德的向上具有重大影响。虽然很少人能够逃脱同伙褒贬的影响，但最后人类还是不会以褒贬作为他的唯一指针，而是受到理性支配的习惯信仰为他提供了最稳妥的准则。于是他的良知便成为最高的判断者和告诫者。尽管如此，道德观念的最初基础或起源还是在于包括同情心在内的社会本能；这等本能就像在次级动物场合中那样，最初无疑是通过自然选择而被获得的。

常常有人提出，信仰上帝不仅是人类和次级动物之间的最大区别，而且是最完全的区别。然而，正如我们已经看到的，不可能主张人类的这种信仰是天生的或本能的。另一方面，对无所不在的精灵力量的信仰似乎是普遍的；显然这是来自人类理性的相当进步，而且是来自人类想象、好奇和惊异的官能的更大进步。我知道这种假定的对上帝的本能信仰曾被许多人用作一个论据来表明上帝的存在。但以此作为论据未免轻率，倘如此，我们就要被迫去相信许多仅仅比人类力量稍大的残忍而恶毒的精灵的存在；因为对精灵的信仰远比对慈悲的神的信仰更为普遍。直到人类经过长期不断

的文化陶冶而被提高其地位之后，人类的思想中似乎才发生了一个万能而慈悲的造物主的观念。

一个人如果相信人类是从某一低等生物类型发展而来的，他自然要问这种信念同灵魂不灭的信念何以相容。正如拉卜克爵士已经阐明的，人类的野蛮种族并不具有明显的这种信念；刚才我们已经看到，从未开化人原始信仰得出的那些论据是没有多大用处的，或者根本没有用处。在从一个微小胚泡的痕迹开始的个体发展过程中，不可能决定在什么确定的时期人类才变为一种伟大的物种，对此很少人感到不安；而在逐渐上升的生物等级中、即在系统发展的过程中也不可能决定这样的时期，对此就更没有感到不安的理由了①。

我知道，本书所得出的结论将会被某些人斥为非常反对宗教的；但斥责者不得不阐明，以人类作为一个独特物种通过变异和自然选择的法则发生于某一较低类型来解释人类的起源，为什么比按照普通的繁殖法则来解释个体的产生更为反对宗教呢。物种的产生和个体的产生，都是伟大生命事件发生次序中的相等部分，我们的头脑拒绝承认这是盲目的偶然结果。无论我们能否相信构造的每一个轻微变异——每一对配偶的婚姻结合——每一粒种子的散布——以及其他这等事件全是由神来决定去服从于某一特殊目的的，但理智同这种结论是不相容的。

本书对性选择进行了详细的讨论；因为，正如我试图阐明的，性选择在生物界的历史中起了重要的作用。我知道还有许多情形存在着疑问，但我已就全部情况尽力提出一个公平的观点。在动物界的较低部门中，性选择似乎没有什么作用：这等动物往往终生固定于同一个地点或是雌雄同体，更加重要的是，它们知觉力和智力

① 皮克顿(J. A. Picton)对这个效果给予他的见解：《新理论和旧信仰》(New Theories and the Old Faith)，1870年。

还没有足够的进步，以表现爱和嫉妒的感情，或实行选择对象。然而，当进至节肢动物和脊椎动物这两个大“门”时，甚至在它们最低等的纲中，性选择也发挥了很大作用。

在动物界几个大的纲中——哺乳类、鸟类、爬行类、鱼类、昆虫类，甚至甲壳类——雌雄之间基本按照同样的规律而有所差异。雄者几乎永远是求偶者；唯独它们具有特殊的武器，用来同其竞争对手进行战斗。它们一般比雌者更加强有力而且更加体大，并且赋有勇气和好斗这等必需的品质。声乐器官或器乐器官以及散发气味的腺体，不是为它们所专有就是比雌者的更加高度发达。它们具有各式各样的附器以及最鲜艳的或惹起注目的颜色，这等颜色往往是以优雅的样式来排列的，而雌者却无所装饰。当雌雄二者在更重要的构造上有所差异时，正是雄者具有特殊的感觉器官以发现雌者，具有运动器官以达到雌者的所在，而且常常具有抱握器官以抓住雌者。雄者的这种种媚惑或招致雌者的构造常常只在每年的某一时期、即在繁殖季节才发达。在许多场合中，这等构造或多或少地传给了雌者；倘如此，它们在雌者身上仅表现为残迹。当雄者被去势之后，这等构造即行消失或决不出现。一般地，它们在雄者的幼小时期不发达，而是在达到生殖年龄之前不久才出现。因此，在大多数场合中，幼小的雌雄二者彼此相像；而且雌者终生同其幼小后代多少相像。几乎在每一个大“纲”中都有少数反常现象发生，这时雌雄二者所固有的性状差不多完全互换位置；雌者呈现雄者所固有的性状。在如此众多的和远隔的诸纲中，雌雄二者之间的差异受到了异常一致的法则所支配，如果我们承认一个共同的原因、即性选择在起作用，这种情形就是可以理解的了。

性选择决定于同一性别的某些个体胜过其他个体，这与物种繁殖有关；而自然选择决定于雌雄双方的成功，不问其年龄如何，这与一般的生活条件有关。性的争斗有两种；一是同一性别（一般为雄者）的个体之间的争斗，以便赶走或弄死其竞争对手，而雌者

则处于被动地位；另一种争斗同样也是在同一性别的个体之间进行的，以便刺激或媚惑异性（一般是雌者），这时雌者不再处于被动地位，而是选择更适意的配偶。后面这种选择同人类对家养生物的选择密切相似，人类进行这种选择是无意识的，却是有效的，他在悠久的期间内保存了最合意的或最有用的个体，而没有改变这个品种的任何要求。

任何一种性别通过性选择所获得的性状究竟传递给同一性别还是传递给雌雄双方，以及这等性状在什么年龄才发育，均由遗传法则决定。在生命晚期发生的变异似乎只向同一性别传递。变异性是选择作用所必需的基础，变异性同选择完全没有关系。由此而来的是，具有同样一般性质的变异，与物种繁殖有关者，常常通过性选择而被利用和被积累；与一般生活目的有关者，则通过自然选择而被利用和被积累。因此，第二性征当同等地传递给雌雄双方时，只依据类推方法就能够把它们同物种的一般性状区别开来。通过性选择所获得的变异往往是如此强烈显著，以致雌雄二者屡屡被分类为不同的物种，甚至不同的属。这等强烈显著的差异在某种方式上一定是高度重要的；我们知道，在某些事例中它们的获得不仅招致了不方便，而且还要处于实际的危险之中。

对性选择力量的信念主要是以下述考虑为依据的。一定的性状限于某一性别所专有；仅仅这一事实就很可能说明，在大多数场合中这等性状是同繁殖行为相关联的。大量事例表明，这等性状只在成熟时而且常常只在每年的一部分时期——永远是繁殖季节，才充分发达。雄者在求偶时是比较积极的（除少数例外）；它们具有较好的武器，而且在各个方面更富有魅力。特别应该注意的是，雄者在雌者面前精心展示其魅力；除了在求爱季节，它们很少或者决不这样展示。最后，就某些四足兽和鸟类来说，我们有明显的证据可以证明，某一性别的诸个体对另一性别的一定个体抱有厌恶或偏爱的强烈感情。

如果记住这等事实以及人类对家养动物和栽培植物所实行无意识选择的显著结果，在我看来，几乎肯定的是，如果某一性别的诸个体在一长系列的世代中乐于同另一性别的一定个体相交配——后面这些个体系以某种特殊方式构成其特征的，那么，它们的后代大概会缓慢而肯定地按照这种同样的方式发生变异。我并不试图讳言除非雄者的数量多于雌者或盛行一夫多妻，魅力较强的雄者是否比魅力较差的雄者能够成功地留下数量较多的后代以继承它们在装饰方面或其他魅力方面的优越性，尚属疑问；但我已经阐明，这大概是由雌者——特别是那些精力较旺盛而且最先繁育的雌者——不仅喜爱魅力较强的、而且同时喜爱精力较旺盛的和获得胜利的雄者所产生的结果。

尽管我们有某种确实的证据可以证明鸟类欣赏鲜明的和美丽的物体，就像澳大利亚的造亭鸟那样，尽管它们肯定欣赏鸣唱的能力，但我对许多鸟类以及某些哺乳动物的雌者赋有足够的审美力以欣赏那些通过性选择所获得的装饰物，还是充分认为令人感到惊讶；在爬行类、鱼类和昆虫类的场合中这种情形尤其令人感到惊讶。但关于低等动物的心理，我们确是一无所知。例如，不能设想雄极乐鸟或雄孔雀在雌者面前如此尽力地竖起、展开以及摆动其美丽羽毛而全无目的。我们应该记住在前面根据某一权威所举出的事实：当禁止几只雌孔雀进入一只受到赞美的雄孔雀所在地时，她们宁愿全季寡居，而不与另一只雄孔雀配合。

尽管如此，我所知道的博物学中的事实还没有比雌锦雉欣赏雄者翅羽上"球与穴"装饰物的绝妙色调以及优雅的样式更为不可思议的。谁要是认为雄鸟最初就是像现在这样的形态被创造出来的，那么他必须承认它的巨大羽毛是作为一种装饰物赋予它的，这些巨大羽毛阻碍了双翅用于飞行，而且这些巨大羽毛只在求偶期间而不在其他期间以这个物种所特有的一种方式进行展示。倘如此，他还要必须承认雌鸟最初被创造时就被赋予了欣赏这等装饰

物的能力。我的看法所不同于此者，在于我相信雄锦雉是通过雌者历代以来对比较具有高度装饰的雄者的爱好而逐渐获得了他的美貌；雌者的审美能力是通过实用或习惯而提高的，正如我们自己的趣味是逐渐改进的一样。有的雄者由于偶然的机会保持了少数未变的羽毛，我们在这等羽毛上可以清楚地找到非常简单的斑点，在其一边稍微呈黄褐色调，这等斑点只要跨几小步就可发展成不可思议的"球与穴"装饰物；实际上它们大概就是这样发展起来的。有的人承认进化原理，但对雌性哺乳类、鸟类、爬行类和鱼类能够获得鉴赏雄者美貌的高度能力，而且这种鉴赏能力一般符合于人类的标准，却感到非常难以承认，这些人应该思考一下以下情况，即：一系列脊椎动物的最高等成员以及最低等成员的脑神经细胞都是起源于这一大界的一个共同祖先的脑神经细胞。这样我们就能知道何以会发生这样情形：在各种大不相同的动物类群中某些心理官能系按照差不多同样的方式和差不多同样的程度而发展的。

读者读过讨论性选择的这几章之后，将能判断我所达到的结论在多大程度上可以得到充分证据的支持。如果他接受这些结论，我以为他就可以稳妥地把它们扩大应用于人类；不过关于我刚刚谈过的有关性选择显然作用于人类男女的方式就无须在此重复了，性选择引起了男女在身体和心理上的差别，引起了若干种族彼此在各种不同性状上的差别以及同其古老的、体制低等的祖先的差别。

凡是承认性选择原理的人将被引到一个明显的结论：神经系统不仅支配着身体的大多数现有机能，而且间接地影响某些心理属性以及各种身体构造的向前发展。勇气、好斗性、坚忍性、体力强弱和身体大小，一切种类的武器、音乐器官——无论声乐的或器乐的，鲜明的颜色以及装饰性的附器，所有这些都是由某一性别或另一性别通过选择的实行，通过爱情和嫉妒的影响，通过对声音、颜色或形态之美的欣赏，而间接获得的；这等心理的能力显然决定于

脑的发达。

人在使其饲养的马、牛和狗进行交配之前，总要细心地检查这些动物的性状及其谱系；但当他自己结婚时，却很少或根本不注意这些。人类高度重视精神魅力和美德，在这方面他虽然远远高出次级动物之上，但人类还是被动物选择对象时的那种同样动机所推动。另一方面，人类会单纯地被对象的财富或地位所吸引。然而人类通过选择不仅对其后代的身体构造和体质会发生一些作用，而且对其智力和道德属性也会发生一些作用。如果男或女的身心在任何显著程度上都是低劣的，他们就应控制自己不结婚；不过这种希望乃是空想，除非遗传法则彻底得到了解之后。

人类福利的增进是一个最错综复杂的问题：凡是生下子女而不能避免陷于赤贫的人，都应控制自己不结婚；因为贫穷不仅是一种巨大弊害，如果结婚不顾后果，而且还有使这种弊害增大的倾向。另一方面，正如高尔顿先生所说的，如果轻率者结婚，而谨慎者避免结婚，则社会的低劣成员就会有取代较优成员的倾向。就像每一种其他动物那样，人类之所以能够进步到这样高的地步，无疑是通过迅速增殖所引起的生存斗争而完成的；如果人类更向高处进步，恐怕一定还要继续进行剧烈的斗争。否则人类就要堕入懒惰之中，天赋较高的人在生活斗争中将不会比天赋较低的人获得更大的成功。因此，人类的自然增加率虽可导致许多明显的弊害，但也不会有任何方法把它大大降低。所有的人均应参加公开竞争；不应以法律或习惯来阻止最有才能的人获得最大的成功并养育最大数量的后代。生存斗争过去是、现在依然是重要的，然而仅就人类本性的最高部分而言，还有其他更为重要的力量。这是因为道德品质的进步直接或间接通过习性、推理能力、教育、宗教等效果来完成的，远比通过自然选择来完成的为大；虽然为道德观念的发展提供了基础的社会本能可以稳妥地归因于自然选择的力量。

我遗憾地认为，本书得出的主要结论，即：人类起源于某种低

等的类型，将会使许多人感到非常厌恶。但几乎无可怀疑的是，我们乃是未开化人的后裔。我永远不会忘记第一次看到荒凉而起伏的海岸上的一群火地人时所感到的惊讶，因为我立即想到，这就是我们的祖先。这些人是完全裸体的，周身涂色，长发乱成一团，因激动而口吐白沫，他们的表情粗野、惊恐而多疑。他们几乎没有任何技艺，就像野兽那样地生活，捉到什么吃什么；他们没有政府，对不属于自己小部落的每一个人都冷酷无情。当一个人在本地看到一个未开化人时，如果被迫承认在其血管中流有某一更为低等动物的血，将不会引为奇耻大辱。至于我自己，我宁愿是那只有英雄气概的小猴的后裔，它敢于抗拒可怕之敌以保卫其管理人的性命，我也宁愿是那只老狒狒的后裔，它从山上跑下来，从惊慌的群犬中把一只小狒狒胜利地救走，但我不愿是一个未开化人的后裔，他以虐待其敌人为乐趣，他以鲜血淋漓的牺牲来献祭，他实行杀婴而不愧悔，他待妻子如奴隶，他不懂礼仪，而且被粗野的迷信所纠缠。

人类达到生物等级的顶峰虽不是由于自己的力量，但对此感到骄傲还是可以原谅的；人类最初并不据有现在这样的地位，而是后来升上去的，这一事实对人类在遥远的未来注定还可以登上更高的地位给予了希望。但我们在这里所关注的并不是对未来的希望或恐惧，我们所关注的只是理性允许我们所能发现的真理；我已经尽我的最大力量提出了有关的证据。然而在我看来，我们必须承认，人类虽然具有一切高尚的品质，对最卑劣者寄予同情，其仁慈不仅及于他人而且及于最低等的生物，其神一般的智慧可以洞察太阳系的运动及其构成——虽然他具有一切这样高贵的能力——但在人类的身体构造上依然打上了永远擦不掉的起源于低等生物的标记。

校订后记

尽人皆知，翻译外文为本国文字，属于再创作，为此译者必须精通外文和中文两种文字。而翻译百余年前的经典著作，其难度更是显而易见的。即以达尔文大师这部晚年巨著而论，光是题目就很难译得贴切。因为它难，所以潘光旦先生索性把书名的后半部分省去了。相比之下，笃庄先生译成的书名与原文对照虽多少有些失真，但确实想不出比它更好的译法，因而保留下来了。

我自己虽然也是 80 岁的人了，虽然也学的是生物学，虽然从大学时代就试着搞英译中，然而真正接触到达尔文的原著，却是 75 岁以后的事。当时笃庄先生由于要完成他主译的《达尔文进化论全集》忙不开，因此把《人和动物的感情表达》一书的校订工作交给了我。这本书还是 50 年代周邦立先生的旧译，舛误太多，我只得另起炉灶，译完后得到出版社的接受，笃庄先生的默许。这次又是他忙不开，把这本书的校订工作交给了我，但愿我能不负所托。

本书篇幅虽长，然任务却远比《人和动物的感情表达》一书的校订工作好做。开头我还对照原文进行校订。一章过去了，我很快得出结论：译著对原文是绝对忠实的，而且译文之流畅也决不比原文逊色。信·达做到了，我只需在雅字上下点功夫。于是我便把原著当作词典，只在犯疑时查对一下，改为用研读一部科学巨著的态度来校阅此书。遇有我认为还有改进余地的地方动手改一改，工作进展得就快多了。

当工作进展到将近一半时，从出版社传来消息，社方希望我们将本书译稿进行压缩。本来经典著作出现压缩本不乏先例，但一般是由原出版社进行的。由于我们手头没有这样版本，虽有一个日译

压缩本，但我不懂日文，无从借鉴。只得在译文和原文双方下功夫。

有关译文方面，原译对动物学名几乎遇到便注，现改为仅注第一次出现的中译名后面。这当然解决不了多大问题。其次便是尽量去掉可有可无的字，同时将学名的译法采用现行的，也是简化的，如介壳虫直译为蚧，甲虫简称为甲等。总之，为了服从于压缩的前提，对译文的修剪工作还是下了一番功夫的。

更主要的是去掉原著中的两个附录：第八章的附录（关于不同纲的动物的雌雄比例数）；第三部分的附录（关于猴类的性选择）。再加上对第三部分三章中对一些半开化民族的不恰当描述（大半是引用旁人的）的删除，总共大约去掉原译本的不到1/10，我们总算尽到力了。

出一本译著不容易，出译著的校订本更是难得的际遇。我能参与其事感到非常荣幸。在此我要向笃庄先生及出版单位表示诚挚的谢意。

曹骥

1996年3月24日

相 对 论

爱因斯坦著

许良英 译

简　　介

诞生于哥白尼革命的近代科学，经伽利略、开普勒、笛卡儿等人艰苦卓绝的工作，牛顿集其大成，建立起一个完整的力学理论体系。这个体系威力无比，成为以后200年整个物理学、天文学和所有工程技术的理论基础，并在众多领域取得辉煌成果。到了19世纪后叶，人们认为物理学理论已接近最后完成，留给后人的只能在细节上作些补充。可是，就在此时却出现了一系列为原有理论无法解释的实验事实和新现象。老一辈物理学家都企图用修补漏洞的办法来维护旧理论框架。富有哲学探索精神的青年物理学家爱因斯坦(Albert Einstein，1879—1955)则认识到，要摆脱这一物理学危机，只有对物理理论的基础进行根本性的变革。他于1905年创立了狭义相对论，否定了被人们视为天经地义的绝对空间和绝对时间观念，由此引发了物理学革命。随后，他把相对性原理从匀速运动推广到加速运动，于1915年建立了广义相对论，提出了新的引力理论，并预言光线经过引力场要弯曲。1919年日全食的观察实证了这一预言，全世界为之震动。这里所收的，一篇是1905年的狭义相对论原始论文《论动体的电动力学》，另一篇是1916对1915年创立的广义相对论的总结性论文《广义相对论的基础》。

爱因斯坦1879年生于德国，系犹太血统，1894年离开德国并放弃德国籍，1901年取得瑞士国籍。1900年毕业于苏黎世联邦工业大学。由于其离经叛道的独立思想，毕业后即失业，两年后才在

瑞士专利局找到固定职业。他利用业余时间，于 1905 年 3—6 月 4 个月内，完成了 4 篇论文，在物理学 3 个不同领域中都分别取得了历史性的成就，创造了科学史上一个绝无仅有的奇迹。第一篇论文是关于辐射理论，提出光量子假说，解决了光电效应问题（由此，1922 年获诺贝尔物理学奖）。第二、三篇是关于分子运动论，为解决原子是否存在的哲学上长期争论的问题提供了决定性的判据。第四篇就是相对论论文。9 月他又提出作为相对论一个推论的质能相当关系（$E=mc^2$），这是随后发展起来的核物理学、粒子物理学和利用原子能技术的理论基础。1909 年他开始进学术机构，在大学任教。1914 年应邀回德国工作，不久爆发第一次世界大战，他即积极投身反战斗争。1915—1917 年，他的科学成就达到第二个高峰，3 年内在 3 个领域取得划时代的贡献，这就是：1915 年的广义相对论，1916 年的受激辐射概念（成为 60 年代出现的激光技术的理论先导），以及 1917 年现代宇宙学的创立。

1918 年第一次世界大战结束后，爱因斯坦致力于世界和平，与正在滋长的军国主义、法西斯主义进行不懈的斗争。1933 年希特勒上台，他成为纳粹追捕对象，不得不逃亡英国，随后转到美国，1940 年取得美国国籍。为防范纳粹抢先拥有毁灭性的核武器，1939 年他建议罗斯福总统研制原子弹。1945 年美军向日本城市投掷第一颗原子弹，爱因斯坦为此深感不安。战后他竭力倡导反核战争的和平运动，并与侵犯公民自由权利的麦卡锡主义进行坚决斗争。他认为，“人只有献身于社会，才能找出那实际上是短暂而有风险的人生的意义。”

许良英

论动体的电动力学[1]

大家知道，麦克斯韦电动力学——像现在通常为人们所理解的那样——应用到运动的物体上时，就要引起不对称，而这种不对称似乎不是现象所固有的。比如设想一个磁体同一个导体之间的电动力的相互作用。在这里，可观察到的现象只同导体和磁体的相对运动有关，可是按照通常的看法，这两个物体之中，究竟是这个在运动，还是那个在运动，却是截然不同的两回事。如果是磁体在运动，导体静止着，那末在磁体附近就会出现一个具有一定能量的电场，它在导体各部分所在的地方产生一股电流。但是如果磁体是静止的，而导体在运动，那末磁体附近就没有电场，可是在导体中却有一电动势，这种电动势本身虽然并不相当于能量，但是它——假定这里所考虑的两种情况中的相对运动是相等的——却会引起电流，这种电流的大小和路线都同前一情况中由电力所产生的一

---

① 这是相对论的第一篇论文，是物理科学中有划时代意义的历史文献，写于1905年6月，发表在1905年9月的德国《物理学杂志》(*Annalen der Physik*)，第4编，17卷，891—921页。译时参考了洛伦兹、爱因斯坦、明可夫斯基关于相对论的原始论文集：《相对性原理》(H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski: *Das Relativiätsprinzip, Eine Sammlung von Abhandlungen*)，由W. 帕勒特(Perrett)和G. B. 杰费利(Jeffery)译的英译本《The Principle of Relativity》，并请范岱年同志校过。译文最初发表于《爱因斯坦文集》第二卷，商务印书馆，1977年。——译者

样。

诸如此类的例子，以及企图证实地球相对于“光媒质”运动的实验的失败，引起了这样一种猜想：绝对静止这概念，不仅在力学中，而且在电动力学中也不符合现象的特性，倒是应当认为，凡是对力学方程适用的一切坐标系，对于上述电动力学和光学的定律也一样适用，对于第一级微量来说，这是已经证明了的。我们要把这个猜想（它的内容以后就称之为“相对性原理”①）提升为公设，并且还要引进另一条在表面上看来同它不相容的公设：光在空虚空间里总是以一确定的速度 V 传播着，这速度同发射体的运动状态无关。由这两条公设，根据静体的麦克斯韦理论，就足以得到一个简单面又不自相矛盾的动体电动力学。“光以太”的引用将被证明是多余的，因为按照这里所要阐明的见解，既不需要引进一个具有特殊性质的“绝对静止的空间”，也不需要给发生电磁过程的空虚空间中的每个点规定一个速度矢量。

这里所要阐明的理论——像其他各种电动力学一样——是以刚体的运动学为根据的，因为任何这种理论所讲的，都是关于刚体（坐标系）、时钟和电磁过程之间的关系。对这种情况考虑不足，就是动体电动力学目前所必须克服的那些困难的根据。

Ⅰ. 运动学部分

§1. 同时的定义

设有一个牛顿力学方程在其中有效的坐标系。为了使我们的

① 当时作者并不知道洛伦兹和彭加勒在1904—1905年间发表的有关论文，而只读到过洛伦兹1895年的涉及迈克耳孙实验的论文（那里提出了洛伦兹-斐兹杰惹收缩）。——译者

陈述比较严谨，并且便于将这坐标系同以后要引进来的别的坐标系在字面上加以区别，我们叫它“静系”。

如果一个质点相对于这个坐标系是静止的，那末它相对于后者的位置就能够用刚性的量杆按照欧几里得几何的方法来定出，并且能用笛卡儿坐标来表示。

如果我们要描述一个质点的**运动**，我们就以时间的函数来给出它的坐标值。现在我们必须记住，这样的数学描述，只有在我们十分清楚地懂得“时间”在这里指的是什么之后才有物理意义。我们应当考虑到：凡是时间在里面起作用的我们的一切判断，总是关于**同时的事件**的判断。比如我说，“那列火车7点钟到达这里”，这大概是说：“我的表的短针指到7，同火车的到达是同时的事件。”①

可能有人认为，用“我的表的短针的位置”来代替“时间”，也许就有可能克服由于定义“时间”而带来的一切困难。事实上，如果问题只是在于为这只表所在的地点来定义一种时间，那末这样一种定义就已经足够了；但是，如果问题是要把发生在不同地点的一系列事件在时间上联系起来，或者说——其结果依然一样——要定出那些在远离这只表的地点所发生的事件的时间，那末这样的定义就不够了。

当然，我们对于用如下的办法来测定事件的时间也许会感到满意，那就是让观察者同表一起处于坐标的原点上，而当每一个表明事件发生的光信号通过空虚空间到达观察者时，他就把当时的时针位置同光到达的时间对应起来。但是这种对应关系有一个缺点，正如我们从经验中所已知道的那样，它同这个带有表的观察者所在的位置有关。通过下面的考虑，我们得到一种比较切合实际得

① 这里，我们不去讨论那种隐伏在（近乎）同一地点发生的两个事件的同时性这一概念里的不精确性，这种不精确性同样必须用一种抽象法把它消除。——原注

多的测定法。

如果在空间的 A 点放一只钟，那末对于贴近 A 处的事件的时间，A 处的一个观察者能够由找出同这些事件同时出现的时针位置来加以测定。如果又在空间的 B 点放一只钟——我们还要加一句，“这是一只同放在 A 处的那只完全一样的钟”——那末，通过在 B 处的观察者，也能够求出贴近 B 处的事件的时间。但要是没有进一步的规定，就不可能把 A 处的事件同 B 处的事件在时间上进行比较；到此为止，我们只定义了“A 时间”和“B 时间”，但是并没有定义对于 A 和 B 是公共的“时间”。只有当我们**通过定义**，把光从 A 到 B 所需要的“时间”规定为等于它从 B 到 A 所需要的“时间”，我们才能够定义 A 和 B 的公共“时间”。设在“A 时间”t_A 从 A 发出一道光线射向 B，它在“B 时间”t_B 又从 B 被反射向 A，而在“A 时间”t'_A 回到 A 处。如果

$$t_B - t_A = t'_A - t_B,$$

那末这两只钟按照定义是同步的。

我们假定，这个同步的定义是可以没有矛盾的，并且对于无论多少个点也都适用，于是下面两个关系是普遍有效的：

1. 如果在 B 处的钟同在 A 处的钟同步，那末在 A 处的钟也就同 B 处的钟同步。

2. 如果在 A 处的钟既同 B 处的钟，又同 C 处的钟同步的，那末，B 处同 C 处的两只钟也是相互同步的。

这样，我们借助于某些（假想的）物理经验，对于静止在不同地方的各只钟，规定了什么叫做它们是同步的，从而显然也就获得了“同时”和“时间”的定义。一个事件的“时间”，就是在这事件发生地点静止的一只钟同该事件同时的一种指示，而这只钟是同某一只特定的静止的钟同步的，而且对于一切的时间测定，也都是同这只特定的钟同步的。

根据经验，我们还把下列量值

$$\frac{2\overline{AB}}{t'_A - t_A} = V$$

当作一个普适常数(光在空虚空间中的速度)。

要点是,我们用静止在静止坐标系中的钟来定义时间;由于它从属于静止的坐标系,我们把这样定义的时间叫做"静系时间"。

§2. 关于长度和时间的相对性

下面的考虑是以相对性原理和光速不变原理为依据的,这两条原理我们定义如下:

1. 物理体系的状态据以变化的定律,同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是用两个在互相匀速移动着的坐标系中的哪一个并无关系。

2. 任何光线在"静止的"坐标系中都是以确定的速度 V 运动着,不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的。由此,得

$$速度 = \frac{光的路程}{时间间隔},$$

这里的"时间间隔"是依照§1中所定义的意义来理解的。

设有一静止的刚性杆;用一根也是静止的量杆量得它的长度是 l. 我们现在设想这杆的轴是放在静止坐标系的 X 轴上,然后使这根杆沿着 X 轴向 x 增加的方向作匀速的平行移动(速度是 v)。我们现在来考查这根**运动着**的杆的长度,并且设想它的长度是由下面两种操作来确定的:

a) 观察者同前面所给的量杆以及那根要量的杆一道运动,并且直接用量杆同杆相叠合来量出杆的长度,正像要量的杆、观察者和量杆都处于静止时一样。

b) 观察者借助于一些安置在静系中的、并且根据§1作同步运行的静止的钟,在某一特定时刻 t,求出那根要量的杆的始末两

端处于静系中的哪两个点上。用那根已经使用过的在这情况下是静止的量杆所量得的这两点之间的距离，也是一种长度，我们可以称它为“杆的长度”。

由操作 a)求得的长度，我们可称之为“动系中杆的长度”。根据相对性原理，它必定等于静止杆的长度 l。

由操作 b)求得的长度，我们可称之为“静系中(运动着的)杆的长度”。这种长度我们要根据我们的两条原理来加以确定，并且将会发现，它是不同于 l 的。

通常所用的运动学心照不宣地假定了：用上述这两种操作所测得的长度彼此是完全相等的，或者换句话说，一个运动着的刚体，于时间 t，在几何学关系上完全可以用**静止**在一定位置上的**同一**物体来代替。

此外，我们设想，在杆的两端(A 和 B)，都放着一只同静系的钟同步了的钟，也就是说，这些钟在任何瞬间所报的时刻，都同它们所在地方的“静系时间”相一致；因此，这些钟也是“在静系中同步的”。

我们进一步设想，在每一只钟那里都有一位运动着的观察者同它在一起，而且他们把§1中确立起来的关于两只钟同步运行的判据应用到这两只钟上。设有一道光线在时间[①] t_A 从 A 处发出，在时间 t_B 于 B 处被反射回，并在时间 t'_A 返回到 A 处。考虑到光速不变原理，我们得到：

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v} \text{ 和 } t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v},$$

此处 r_{AB} 表示运动着的杆的长度——在静系中量得的。因此，同动杆一起运动着的观察者会发现这两只钟不是同步运行的，可是处

① 这里的“时间”表示“静系的时间”，同时也表示“运动着的钟经过所讨论的地点时的指针位置”。——原注

在静系中的观察者却会宣称这两只钟是同步的。

由此可见，我们不能给予同时这概念以任何**绝对的**意义；两个事件，从一个坐标系看来是同时的，而从另一个相对于这个坐标系运动着的坐标系看来，它们就不能再被认为是同时的事件了。

§3. 从静系到另一个相对于它作匀速移动的坐标系的坐标和时间的变换理论

设在“静止的”空间中有两个坐标系，每一个都是由3条从一点发出并且互相垂直的刚性物质直线所组成。设想这两个坐标系的 X 轴是叠合在一起的，而它们的 Y 轴和 Z 轴则各自互相平行着。①设每一系都备有一根刚性量杆和若干只钟，而且这两根量杆和两坐标系的所有的钟彼此都是完全相同的。

现在对其中一个坐标系(k)的原点，在朝着另一个静止的坐标系(K)的 x 增加方向上给以一个(恒定)速度 v，设想这个速度也传给了坐标轴、有关的量杆，以及那些钟。因此，对于静系 K 的每一时间 t，都有动系轴的一定位置同它相对应，由于对称的缘故，我们有权假定 k 的运动可以是这样的：在时间 t(这个“t”始终是表示静系的时间)，动系的轴是同静系的轴相平行的。

我们现在设想空间不仅是从静系 K 用静止的量杆来量度，而且也可从动系 k 用一根同它一道运动的量杆来量，由此分别得到坐标 x,y,z 和 ξ,η,ζ。再借助于放在静系中的静止的钟，用§1中所讲的光信号方法，来测定一切安置有钟的各个点的静系时间 t；同样，对于一切安置有同动系相对静止的钟的点，它们的动系时间

① 本文中用大写的拉丁字母XYZ和希腊字母ΞΗΖ分别表示这两个坐标系(K系和k系)的轴，而用相应的小写拉丁字母 x,y,z 和小写的希腊字母 ξ,η,ζ 分别表示它们的坐标值。——译者

τ 也是用§1 中所讲的两点间的光信号方法来测定，而在这些点上都放着后一种〔对动系静止〕的钟。

对于完全地确定静系中一个事件的位置和时间的每一组值 x,y,z,t，对应有一组值 ξ,η,ζ,τ，它们确定了那一事件对于坐标系 k 的关系，现在要解决的问题是求出联系这些量的方程组。

首先，这些方程显然应当都是线性的，因为我们认为空间和时间是具有均匀性的。

如果我们置 $x'=x-vt$，那末显然，对于一个在 k 系中静止的点，就必定有一组同时间无关的值，x',y,z。我们先把 τ 定义为 x'；y,z 和 t 的函数。为此目的，我们必须用方程来表明 τ 不是别的，而只不过是 k 系中已经依照§1 中所规定的规则同步化了的静止钟的全部数据。

从 k 系的原点在时间 τ_0 发射一道光线，沿着 X 轴射向 x'，在 τ_1 时从那里反射回坐标系的原点，而在 τ_2 时到达；由此必定有下列关系：

$$\frac{1}{2}(\tau_0+\tau_2)=\tau_1,$$

或者，当我们引进函数 τ 的自变数，并且应用在静系中的光速不变的原理：

$$\frac{1}{2}\left[\tau(0,0,0,t)+\tau\left(0,0,0,t+\frac{x'}{V-v}+\frac{x'}{V+v}\right)\right]$$
$$=\tau\left(x',0,0,t+\frac{x'}{V-v}\right).$$

如果我们选取 x' 为无限小，那末，

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{V-v}+\frac{1}{V+v}\right)\frac{\partial\tau}{\partial t}=\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{1}{V-v}\frac{\partial\tau}{\partial t},$$

或者
$$\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{v}{V^2-v^2}\frac{\partial\tau}{\partial t}=0.$$

应当指出，我们可以不选坐标原点，而选任何别的点作为光线

的出发点，因此刚才所得到的方程对于 x'，y，z 的一切数值都该是有效的。

作类似的考查——用在 H 轴和 Z 轴上——并且注意到，从静系看来，光沿着这些轴传播的速度始终是 $\sqrt{V^2-v^2}$，这就得到：

$$\frac{\partial \tau}{\partial y}=0,$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial z}=0.$$

由于 τ 是**线性**函数，从这些方程得到：

$$\tau=a\left(t-\frac{v}{V^2-v^2}x'\right),$$

此处 a 暂时还是一个未知函数 $\varphi(v)$，并且为了简便起见，假定在 k 的原点，当 $\tau=0$ 时，$t=0$。

借助于这一结果，就不难确定 ξ，η，ζ 这些量，这只要用方程来表明，光（像光速不变原理和相对性原理所共同要求的）在动系中量度起来也是以速度 V 在传播的。对于在时间 $\tau=0$ 向 ξ 增加的方向发射出去的一道光线，其方程是：

$$\xi=V_\tau,\text{或者 } \xi=aV\left(t-\frac{v}{V^2-v^2}x'\right).$$

但在静系中量度，这道光线以速度 $V-v$ 相对于 k 的原点运动着，因此得到：

$$\frac{x'}{V-v}=t.$$

如果我们以 t 的这个值代入关于 ξ 的方程中，我们就得到：

$$\xi=a\frac{V^2}{V^2-v^2}x'.$$

用类似的办法，考查沿着另外两根轴走的光线，我们就求得：

$$\eta=V_\tau-aV\left(t-\frac{v}{V^2-v^2}x'\right),$$

此处
$$\frac{y}{\sqrt{V^2-v^2}}=t;\quad x'=0;$$
因此
$$\eta=a\frac{V}{\sqrt{V^2-v^2}}y \quad 和 \quad \xi=a\frac{V}{\sqrt{V^2-v^2}}z.$$

代入 x' 的值,我们就得到:
$$\tau=\varphi(v)\beta\left(t-\frac{v}{V^2}x\right),$$
$$\xi=\varphi(v)\beta(x-vt),$$
$$\eta=\varphi(v)y,$$
$$\zeta=\varphi(v)z,$$
此处
$$\beta=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}},$$
而 φ 暂时仍是 v 的一个未知函数。如果对于动系的初始位置和 τ 的零点不作任何假定,那末这些方程的右边都有一个附加常数。

我们现在应当证明,任何光线在动系量度起来都是以速度 V 传播的,如果像我们所假定的那样,在静系中的情况就是这样的;因为我们还未曾证明光速不变原理同相对性原理是相容的。

在 $t=\tau=0$ 时,这两坐标系共有一个原点,设从这原点发射出一个球面波,在 K 系里以速度 V 传播着。如果 (x,y,z) 是这个波刚到达的一点,那末
$$x^2+y^2+z^2=V^2t^2.$$

借助我们的变换方程来变换这个方程,经过简单的演算后,我们得到:
$$\xi^2+\eta^2+\zeta^2=V^2\tau^2.$$

由此,在动系中看来,所考查的这个波仍然是一个具有传播速

度 V 的球面波。这表明我们的两条基本原理是彼此相容的。①

在已推演得的变换方程中，还留下一个 v 的未知函数 φ，这是我们现在所要确定的。

为此目的，我们引进第三个坐标系 K'，它相对于 k 系作这样一种平行于 Ξ 轴的移动，使它的坐标原点在 Ξ 轴上以速度 $-v$ 运动着。设在 $t=0$ 时，所有这三个坐标原点都重合在一起，而当 $t=x=y=z=0$ 时，设 K' 系的时间 t' 为零。我们把在 K' 系量得的坐标叫做 x', y', z'，通过两次运用我们的变换方程，我们就得到：

$$t' = \varphi(-v)\beta(-v)\left\{\tau + \frac{v}{V^2}\xi\right\} = \varphi(v)\varphi(-v)t,$$

$$x' = \varphi(-v)\beta(-v)\{\xi + v\tau\} = \varphi(v)\varphi(-v)x,$$

$$y' = \varphi(-v)\eta \qquad = \varphi(v)\varphi(-v)y,$$

$$z' = \varphi(-v)\zeta \qquad = \varphi(v)\varphi(-v)z.$$

由于 x', y', z' 同 x, y, z 之间的关系中不含有时间 t，所以 K 同 K' 这两个坐标系是相对静止的，而且，从 K 到 K' 的变换显然也必定是恒等变换。因此：

$$\varphi(v)\varphi(-v) = 1.$$

我们现在来探究 $\varphi(v)$ 的意义。我们注意 k 系中 H 轴上在 $\xi=0, \eta=0, \zeta=0$ 和 $\xi=0, \eta=l, \zeta=0$ 之间的这一段。这一段的 H 轴，是一根对于 K 系以速度 v 作垂直于它自己的轴运动着的杆。它的两端在 K 中的坐标是：

---

① 洛伦兹变换方程可以直接从下面的条件更加简单地推导出来：由于那些方程，从

$$x^2 + y^2 + z^2 - V^2t^2 = 0$$

这一关系，应该推导出第二个关系

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 - V^2\tau^2 = 0.$$

——《相对性原理》编者注

$$x_1 = vt, y_1 = \frac{l}{\varphi(v)}, z_1 = 0;$$

和
$$x_2 = vt, y_2 = 0, z_2 = 0.$$

在 K 中所量得的这杆的长度也是 $l/\varphi(v)$；这就给出了函数 φ 的意义。由于对称的缘故，一根相对于自己的轴作垂直运动的杆，在静系中量得的它的长度，显然必定只同运动的速度有关，而同运动的方向和指向无关。因此，如果 v 同 $-v$ 对调，在静系中量得的动杆的长度应当不变。由此推得：

$$\frac{l}{\varphi(v)} = \frac{l}{\varphi(-v)}, \text{或者 } \varphi(v) = \varphi(-v).$$

从这个关系和前面得出的另一关系，就必然得到 $\varphi(v)=1$. 因此，已经得到的变换方程就变为：①

$$\tau = \beta\left(t - \frac{v}{V^2}x\right),$$
$$\xi = \beta(x - vt),$$
$$\eta = y,$$
$$\zeta = z,$$

此处

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}}.$$

---

① 这一组变换方程以后通称为洛伦兹变换方程，事实上它是同洛伦兹1904年提出的变换方程不同的，洛伦兹原来的形式相当于：

$$\tau = \frac{t}{\beta} - \frac{\beta v}{V^2}x, \quad \xi = \beta x, \quad \eta = y, \quad \zeta = z.$$

两者只对于 β 的一次幂才是一致的。值得注意的是，对于爱因斯坦的形式，$x^2+y^2+z^2-V^2t^2$ 是一个不变量；而对于洛伦兹的形式则不是。所以以后大家都采用爱因斯坦的形式。这个变换方程，伏格特(*W. Voigt*)于1887年，拉摩(J. Larmor)于1900年已分别发现，但当时并未认识其重要意义，因此也未引起人们的注意。——译者

§4. 关于运动刚体和运动时钟所得方程的物理意义

我们观察一个半径为 R 的刚性球①，它相对于动系 k 是静止的，它的中心在 k 的坐标原点上。这个球以速度 v 相对于 K 系运动着，它的球面的方程是：

$$\xi^2+\eta^2+\zeta^2=R^2.$$

用 x,y,z 来表示，在 $t=0$ 时，这个球面的方程是：

$$\frac{x^2}{\left(\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\right)^2}+y^2+z^2=R^2.$$

一个在静止状态量起来是球形的刚体，在运动状态——从静系看来——则具有旋转椭球的形状了，这椭球的轴是

$$R\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2},R,R.$$

这样看来，球（因而也可以是无论什么形状的刚体）的 Y 方向和 Z 方向的长度不因运动而改变，而 X 方向的长度则好像以 $1:\sqrt{1-(v/V)^2}$ 的比率缩短了，v 愈大，缩短得就愈厉害。对于 $v=V$，一切运动着的物体——从“静”系看来——都缩成扁平的了。对于大于光速的速度，我们的讨论就变得毫无意义了；此外，在以后的讨论中，我们会发现，光速在我们的物理理论中扮演着无限大速度的角色。

很显然，从匀速运动着的坐标系看来，同样的结果也适用于静止在“静”系中的物体。

进一步，我们设想有若干只钟，当它们同静系相对静止时，它

① 即在静止时看来是球形的物体。——原注

们能够指示时间 t；而当它们同动系相对静止时，就能够指示时间 τ，现在我们把其中一只钟放到 k 的坐标原点上，并且校准它，使它指示时间 τ，从静系看来，这只钟走得快慢怎样呢？

在同这只钟的位置有关的量 x，t 和 τ 之间，显然下列方程成立：

$$\tau=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}}\left(t-\frac{v}{V^2}x\right)\text{和 } x=vt,$$

因此，

$$\tau=t\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}=t-\left\{1-\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\right\}t.$$

由此得知，这只钟所指示的时间（在静系中看来）每秒钟要慢 $1-\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}$ 秒，或者——略去第四级和更高级的[小]量——要慢 $\frac{1}{2}(v/V)^2$ 秒。

从这里产生了如下的奇特后果。如果在 K 的 A 点和 B 点上各有一只在静系看来是同步运行的静止的钟，并且使 A 处的钟以速度 v 沿着 AB 联线向 B 运动，那末当它到达 B 时，这两只钟不再是同步的了，从 A 向 B 运动的钟要比另一只留在 B 处的钟落后 $\frac{1}{2}tv^2/V^2$ 秒（不计第四级和更高级的[小]量），t 是这只钟从 A 到 B 所费的时间。

我们立即可见，当钟从 A 到 B 是沿着一条任意的折线运动时，上面这结果仍然成立，甚至当 A 和 B 这两点重合在一起时，也还是如此。

如果我们假定，对于折线证明的结果，对于连续曲线也是有效的，那末我们就得到这样的命题：如果 A 处有两只同步的钟，其中

一只以恒定速度沿一条闭合曲线运动，经历了 t 秒后回到 A，那末，比那只在 A 处始终未动的钟来，这只钟在它到达 A 时，要慢 $\frac{1}{2}t(v/V)^2$ 秒。由此，我们可以断定：在赤道上的摆轮钟①，比起放在两极的一只在性能上完全一样的钟来，在别的条件都相同的情况下，它要走得慢些，不过所差的量非常之小。

§5. 速度的加法定理

在以速度 v 沿 K 系的 X 轴运动着的 k 系中，设有一个点依照下面的方程在运动：

$$\xi = \omega_\xi \tau, \eta = \omega_\eta \tau, \zeta = 0,$$

此处 ω_ξ 和 ω_η 都表示常数。

求这个点对于 K 系的运动。借助于§3中得出的变换方程，我们把 x, y, z, t 这些量引进这个点的运动方程中来，我们就得到：

$$x = \frac{\omega_\xi + v}{1 + \frac{v\omega_\xi}{V^2}} t,$$

$$y = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}}{1 + \frac{v\omega_\xi}{V^2}} \omega_\eta t,$$

$$z = 0.$$

这样，依照我们的理论，速度的平行四边形定律只在第一级近似范围内才是有效的。我们置：

$$U^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2,$$

---

① 不是"摆钟"，在物理学上摆钟是同地球同属一个体系的。这种情况必须除外。——《相对性原理》编者注

按：普通的手表就是摆轮钟的一种。——译者

$$\omega^2 = \omega_\xi^2 + \omega_\eta^2,$$

$$\alpha = \text{arc tg}\,\frac{\omega_\eta}{\omega_\xi};①$$

α 因而被看作是 v 和 ω 两速度之间的交角。经过简单演算后，我们得到：

$$U = \frac{\sqrt{(v^2 + w^2 + 2vw\cos\alpha) - \left(\frac{vw\sin\alpha}{V}\right)^2}}{1 + \frac{vw\cos\alpha}{V^2}}$$

值得注意的是，v 和 w 是以对称的形式进入合成速度的式子里的。如果 w 也取 X 轴（Ξ 轴）的方向，那末我们就得到：

$$U = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{V^2}}$$

从这个方程得知，由两个小于 V 的速度合成而得的速度总是小于 V，因为如果我们置 $v=V-\kappa, w=V-\lambda$，此处 κ 和 λ 都是正的并且小于 V，那末：

$$U = V\,\frac{2V - \kappa - \lambda}{2V - \kappa - \lambda + \frac{\kappa\lambda}{V}} < V.$$

进一步还可看出，光速 V 不会因为同一个"小于光速的速度"合成起来而有所改变。在这场合下，我们得到：

$$U = \frac{V + w}{1 + \frac{w}{V}} = V.$$

当 v 和 w 具有同一方向时，我们也可以把两个依照 § 3 的变换联合起来，而得到 U 的公式。如果除了在 § 3 中所描述的 K 和 k 这

---

① 原文是：$\alpha = \text{arc tg}\,\frac{\omega_y}{\omega_x}$；——译者

两个坐标系之外，我们还引进另一个对 k 作平行运动的坐标系 k'，它的原点以速度 w 在 Ξ 轴上运动着，那末我们就得到 x,y,z,t 这些量同 k' 的对应量之间的方程，它们同那些在§3 中所得到的方程的区别，仅仅在于以

$$\frac{v+w}{1+\frac{vw}{V^2}}$$

这个量来代替"v"；由此可知，这样的一些平行变换——必然地——形成一个群。

我们现在已经依照我们的两条原理推导出运动学的必要命题，我们要进而说明它们在电动力学中的应用。

Ⅱ． 电动力学部分

§6. 关于空虚空间麦克斯韦-赫兹方程的变换。关于磁场中由运动所产生的电动力的本性

设关于空虚空间的麦克斯韦-赫兹方程对于静系 K 是有效的，那末我们可以得到：

$$\frac{1}{V}\frac{\partial X}{\partial t}=\frac{\partial N}{\partial y}-\frac{\partial M}{\partial z},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial L}{\partial t}=\frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial Y}{\partial t}=\frac{\partial L}{\partial z}-\frac{\partial N}{\partial x},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial M}{\partial t}=\frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial Z}{\partial t}=\frac{\partial M}{\partial x}-\frac{\partial L}{\partial y},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial N}{\partial t}=\frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x}.$$

此处 (X,Y,Z) 表示电力的矢量，而 (L,M,N) 表示磁力的矢量。

如果我们把§3中所得出的变换用到这些方程上去，把这电磁过程参照于那个在§3中所引用的、以速度v运动着的坐标系，我们就得到如下方程：

$$\frac{1}{V}\frac{\partial X}{\partial \tau}=\frac{\partial \beta\left(N-\frac{v}{V}Y\right)}{\partial \eta}-\frac{\partial \beta\left(M+\frac{v}{V}Z\right)}{\partial \zeta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial \beta\left(Y-\frac{v}{V}N\right)}{\partial \tau}=\frac{\partial L}{\partial \zeta}-\frac{\partial \beta\left(N-\frac{v}{V}Y\right)}{\partial \xi}$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial \beta\left(Z-\frac{v}{V}M\right)}{\partial \tau}=\frac{\partial \beta\left(M+\frac{v}{V}Z\right)}{\partial \xi}-\frac{\partial L}{\partial \eta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial L}{\partial \tau}=\frac{\partial \beta\left(Y-\frac{v}{V}N\right)}{\partial \zeta}-\frac{\partial \beta\left(Z+\frac{v}{V}M\right)}{\partial \eta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial \beta\left(M+\frac{v}{V}Z\right)}{\partial \tau}=\frac{\partial \beta\left(Z+\frac{v}{V}M\right)}{\partial \xi}-\frac{\partial X}{\partial \zeta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial \beta\left(N-\frac{v}{V}Y\right)}{\partial \tau}=\frac{\partial X}{\partial \eta}-\frac{\partial \beta\left(Y-\frac{v}{V}N\right)}{\partial \xi},$$

此处

$$\beta=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}}.$$

相对性原理现在要求，如果关于空虚空间的麦克斯韦-赫兹方程在K系中成立，那末它们在k系中也该成立，也就是说，对于动系k的电力矢量(X',Y',Z')和磁力矢量(L',M',N')——它们是在动系k中分别由那些在带电体和磁体上的有重动力作用来定义的——下列方程成立：

$$\frac{1}{V}\frac{\partial X'}{\partial \tau}=\frac{\partial N'}{\partial \eta}-\frac{\partial M'}{\partial \zeta},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial L'}{\partial \tau}=\frac{\partial Y'}{\partial \zeta}-\frac{\partial Z'}{\partial \eta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial Y'}{\partial \tau}=\frac{\partial L'}{\partial \zeta}-\frac{\partial N'}{\partial \xi},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial M'}{\partial \tau}=\frac{\partial Z'}{\partial \xi}-\frac{\partial X'}{\partial \zeta},$$

$$\frac{1}{V}\frac{\partial Z'}{\partial \tau}=\frac{\partial M'}{\partial \xi}-\frac{\partial L'}{\partial \eta}, \qquad \frac{1}{V}\frac{\partial N'}{\partial \tau}=\frac{\partial X'}{\partial \eta}-\frac{\partial Y'}{\partial \xi}.$$

显然，为 k 系所求得的上面这两个方程组必定表达完全同一回事，因为这两个方程组都相当于 K 系的麦克斯韦-赫兹方程。此外，由于两组里的各个方程，除了代表矢量的符号以外，都是相一致的；因此，在两个方程组里的对应位置上出现的函数，除了一个因子 $\psi(v)$ 之外，都应当相一致，而 $\psi(v)$ 这因子对于一个方程组里的一切函数都是共同的，并且同 ξ,η,ζ 和 τ 无关，而只同 v 有关。由此我们得到如下关系：

$$X'=\psi(v)X, \qquad L'=\psi(v)L,$$

$$Y'=\psi(v)\beta\left(Y-\frac{v}{V}N\right), \quad M'=\psi(v)\beta\left(M+\frac{v}{V}Z\right),$$

$$Z'=\psi(v)\beta\left(Z+\frac{v}{V}M\right), \quad N'=\psi(v)\beta\left(N-\frac{v}{V}Y\right).$$

我们现在来作这个方程组的逆变换，首先要用到刚才所得到的方程的解，其次，要把这些方程用到那个由速度 $-v$ 来表征的逆变换（从 k 变换到 K）上去，那末，当我们考虑到如此得出的两个方程组必定是恒等的，就得到：

$$\psi(v)\cdot\psi(-v)=1.$$

再者，由于对称的缘故，①

$$\psi(v)=\psi(-v);$$

所以

$$\psi(v)=1,$$

我们的方程也就具有如下形式：

$$X'=X, \qquad L'=L,$$

① 比如，要是 $X=Y=Z=L=M=0$，而 $N\neq 0$，那末，由于对称的缘故，如果 v 改变正负号而不改变其数值，显然 Y' 也必定改变正负号而不改变其数值。——原注

$$Y' = \beta\left(Y - \frac{v}{V}N\right), \qquad M' = \beta\left(M + \frac{v}{V}Z\right),$$

$$Z' = \beta\left(Z + \frac{v}{V}M\right), \qquad N' = \beta\left(N - \frac{v}{V}Y\right).$$

为了解释这些方程，我们作如下的说明：设有一个点状电荷，当它在静系 K 中量度时，电荷的量值是“1”，那就是说，当它静止在静系中时，它以 1 达因的力作用在距离 1 厘米处的一个相等的电荷上。根据相对性原理，在动系中量度时，这个电荷的量值也该是“1”。如果这个电荷相对于静系是静止的，那末按照定义，矢量(X, Y, Z)就等于作用在它上面的力。如果这个电荷相对于动系是静止的(至少在有关的瞬时)，那末作用在它上面的力，在动系中量出来是等于矢量(X', Y', Z')。由此，上面方程中的前面 3 个，在文字上可以用如下两种文字来表述：

1. 如果一个单位点状电荷在一个电磁场中运动，那末作用在它上面的，除了电力，还有一个“电动力”，要是我们略去 v/V 的二次以及更高次幂所乘的项，这个电动力就等于单位电荷的速度同磁力的矢积除以光速。(旧的表述方式)。

2. 如果一个单位点状电荷在一个电磁场中运动，那末作用在它上面的力就等于在电荷所在处出现的一种电力，这个电力是我们把这电磁场变换到同这单位电荷相对静止的一个坐标系上去时所得出的。(新的表述方式)。

对于“磁动力”也是相类似的。我们看到，在所阐述的这个理论中，电动力只起着一个辅助概念的作用，它的引用是由于这样的情况：电力和磁力都不是独立于坐标系的运动状态而存在的。

同时也很明显，开头所讲的，那种在考查由磁体同导体的相对运动而产生电流时所出现的不对称性，现在是不存在了。而且，关于电动力学的电动力的“位置”(*Sitz*)问题(单极电机)，现在也不成为问题了。

§7. 多普勒原理和光行差的理论

在 K 系中，离坐标原点很远的地方，设有一电动波源，在包括坐标原点在内的一部分空间里，这些电磁波可以在足够的近似程度上用下面的方程来表示：

$$X = X_0\sin\Phi, \qquad L = L_0\sin\Phi,$$
$$Y = Y_0\sin\Phi, \qquad M = M_0\sin\Phi,$$
$$Z = Z_0\sin\Phi, \qquad N = N_0\sin\Phi,$$

此处
$$\Phi=\omega\left(t-\frac{ax+by+cz}{V}\right).$$

这里的(X_0,Y_0,Z_0)和(L_0,M_0,N_0)是规定波列的振幅的矢量，a，b，c 是波面法线的方向余弦。我们要探究由一个静止在动系 k 中的观察者看起来的这些波的性状。

应用 §6 所得出的关于电力和磁力的变换方程，以及 §3 所得出的关于坐标和时间的变换方程，我们立即得到：

$$X' = X_0\sin\Phi', \qquad L' = L_0\sin\Phi',$$
$$Y' = \beta\left(Y_0 - \frac{v}{V}N_0\right)\sin\Phi', \qquad M' = \beta\left(M_0 + \frac{v}{V}Z_0\right)\sin\Phi',$$
$$Z' = \beta\left(Z_0 + \frac{v}{V}M_0\right)\sin\Phi', \qquad N' = \beta\left(N_0 - \frac{v}{V}Y_0\right)\sin\Phi',$$
$$\Phi' = \omega'\left(\tau - \frac{a'\xi + b'\eta + c'\zeta}{V}\right),$$

此处

$$\omega' = \omega\beta\left(1 - a\frac{v}{V}\right),$$

$$a' = \frac{a - \frac{v}{V}}{1 - a\frac{v}{V}},$$

$$b' = \frac{b}{\beta\left(1 - a\frac{v}{V}\right)},$$

$$c' = \frac{c}{\beta\left(1 - a\frac{v}{V}\right)}.$$

从关于 ω' 的方程即可得知：如果有一观察者以速度 v 相对于一个在无限远处频率为 ν 的光源运动，并且参照于一个同光源相对静止的坐标系，“光源-观察者”连线同观察者的速度相交成 φ 角，那末，观察者所感知的光的频率 ν' 由下面方程定出：

$$\nu' = \nu \frac{1 - \cos\varphi \frac{v}{V}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2}}.$$

这就是对于任何速度的多普勒原理。当 $\varphi=0$ 时，这方程具有如下的明晰形式：

$$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{V}}{1 + \frac{v}{V}}}.$$

我们可看出，当 $v=-V$ 时，$\nu'=\infty$，①这同通常的理解相矛盾。

如果我们把动系中的波面法线（光线的方向）同“光源-观察者”连线之间的交角叫做 φ'，那末关于 a' 的方程就取如下形式：

$$\cos\varphi' = \frac{\cos\varphi - \frac{v}{V}}{1 - \frac{v}{V}\cos\varphi}.$$

这个方程以最一般的形式表述了光行差定律。如果 $\varphi=\pi/2$，这个

① 原文为“$v=-\infty$时，$\nu=\infty$”，显然有误。——译者

方程就取简单的形式：①

$$\cos\varphi = -\frac{v}{V}.$$

我们还应当求出这些波在动系中看来的振幅。如果我们把在静系中量出的和在动系中量出的电力或磁力的振幅，分别叫做 A 和 A'，那末我们就得到：

$$A'^2 = A^2 \frac{\left(1 - \frac{v}{V}\cos\varphi\right)^2}{1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2},$$

如果 $\varphi=0$，这个方程就简化成：

$$A'^2 = A^2 \frac{1 - \frac{v}{V}}{1 + \frac{v}{V}}.$$

从这些已求得的方程得知，对于一个以速度 V 向光源接近的观察者，这光源必定显得无限强烈。

§8. 光线能量的变换。作用在完全反射镜上的辐射压力理论

因为 $A^2/8\pi$ 等于每单位体积的光能，于是由相对性原理，我们应当把 $A'^2/8\pi$ 看作是动系中的光能。因此，如果一个光集合体的体积，在 K 中量得的同在 k 中量得的是相等的，那末 A'^2/A^2 就该是这一光集合体"在运动中量得的"能量同"在静止中量得的"能量的比率。但情况并非如此。如果 a,b,c 是静系中光的波面法线的方向余弦，那就没有能量会通过一个以光速在运动着的球面

① 原文这个方程为 $\cos\varphi=\frac{v}{V}$，显然漏了一个负号。——译者

$$(x-Vat)^2+(y-Vbt)^2+(z-Vct)^2=R^2$$

的各个面元素的。我们因此可以说，这个球面永远包围着这个光集合体。我们要探究在 k 系看来这个球面所包围的能量，也就是要求出这个光集合体相对于 k 系的能量。

这个球面——在动系看来——是一个椭球面，在 $\tau=0$ 时，它的方程是：

$$\left(\beta\xi-a\beta\frac{v}{V}\xi\right)^2+\left(\eta-b\beta\frac{v}{V}\xi\right)^2+\left(\zeta-c\beta\frac{v}{V}\xi\right)^2=R^2.$$

如果 S 是球的体积，S' 是这个椭球的体积，那末，通过简单的计算，就得到：

$$\frac{S'}{S}=\frac{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}}{1-\frac{v}{V}\cos\varphi}.$$

因此，如果我们把在静系中量得的、为这个曲面所包围的光能叫做 E，而在动系中量得的叫做 E'，我们就得到：

$$\frac{E'}{E}=\frac{\frac{A'^2}{8\pi}S'}{\frac{A^2}{8\pi}S}=\frac{1-\frac{v}{V}\cos\varphi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}},$$

当 $\varphi=0$ 时，这个公式就简化成：

$$\frac{E'}{E}=\sqrt{\frac{1-\frac{v}{V}}{1+\frac{v}{V}}}.$$

可注意的是，光集合体的能量和频率都随着观察者的运动状态遵循着同一定律而变化。

现在设坐标平面 $\xi=0$ 是一个完全反射的表面，§ 7 中所考查的平面波在那里受到反射。我们要求出作用在这反射面上的光压，

以及经反射后的光的方向、频率和强度。

设入射光由 A,$\cos\varphi$,ν(参照于 K 系)这些量来规定。在 k 看来,其对应量是:

$$A' = A\frac{1-\frac{v}{V}\cos\varphi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}},$$

$$\cos\varphi' = \frac{\cos\varphi-\frac{v}{V}}{1-\frac{v}{V}\cos\varphi},$$

$$\nu' = \nu\frac{1-\frac{v}{V}\cos\varphi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}}.$$

对于反射后的光,当我们从 k 系来看这过程,则得:

$$A'' = A',$$

$$\cos\varphi'' = -\cos\varphi',$$

$$\nu'' = \nu'.$$

最后,通过回转到静系 K 的变换,关于反射后的光,我们得到:

$$A''' = A''\frac{1+\frac{v}{V}\cos\varphi''}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}} = A\frac{1-2\frac{v}{V}\cos\varphi+\left(\frac{v}{V}\right)^2}{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2},$$

$$\cos\varphi''' = \frac{\cos\varphi''+\frac{v}{V}}{1+\frac{v}{V}\cos\varphi''} = \frac{\left(1+\left(\frac{v}{V}\right)^2\right)\cos\varphi-2\frac{v}{V}}{1-2\frac{v}{V}\cos\varphi+\left(\frac{v}{V}\right)^2},$$

$$\nu''' = \nu'' \frac{1+\frac{v}{V}\cos\varphi''}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}} - \nu\frac{1-2\frac{v}{V}\cos\varphi+\left(\frac{v}{V}\right)^2}{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}.$$

每单位时间内射到反射镜上单位面积的(在静系中量得的)能量显然是 $A^2(V\cos\varphi-v)/8\pi$。单位时间内离开反射镜的单位面积的能量是 $A'''^2(-V\cos\varphi''+v)/8\pi$。由能量原理,这两式的差就是单位时间内光压所做的功。如果我们置这功等于乘积 $P\cdot v$,此处 P 是光压,那末我们就得到:

$$P = 2\cdot\frac{A^2}{8\pi}\frac{\left(\cos\varphi-\frac{v}{V}\right)^2}{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}.$$

就第一级近似而论,我们得到一个同实验一致,也同别的理论一致的结果,即

$$P = 2\frac{A^2}{8\pi}\cos^2\varphi.$$

关于动体的一切光学问题,都能用这里所使用的方法来解决。其要点在于,把受到一动体影响的光的电力和磁力,变换到一个同这个物体相对静止的坐标系上去。通过这种办法,动体光学的全部问题将归结为一系列静体光学的问题。

§9. 考虑到运流的麦克斯韦 赫兹方程的变换

我们从下列方程出发:

$$\frac{1}{V}\left\{u_x\rho+\frac{\partial X}{\partial t}\right\}=\frac{\partial N}{\partial y}-\frac{\partial M}{\partial z},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial L}{\partial t}=\frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y},$$

$$\frac{1}{V}\left\{u_y\rho+\frac{\partial Y}{\partial t}\right\}=\frac{\partial L}{\partial z}-\frac{\partial N}{\partial x},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial M}{\partial t}=\frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z},$$

$$\frac{1}{V}\left\{u_z\rho+\frac{\partial Z}{\partial t}\right\}=\frac{\partial M}{\partial x}-\frac{\partial L}{\partial y},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial N}{\partial t}=\frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x},$$

此处：

$$\rho=\frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}$$

表示电的密度的 4π 倍，而(u_x,u_y,u_z)表示电的速度矢量。如果我们设想电荷是同小刚体（离子、电子）牢固地结合在一起的，那末这些方程就是洛伦兹的动体电动力学和光学的电磁学基础。

设这些方程在 K 系中成立，借助于§3和§6的变换方程，把它们变换到 k 系上去，我们由此得到方程：①

$$\frac{1}{V}\left\{u_\xi\rho'+\frac{\partial X'}{\partial \tau}\right\}=\frac{\partial N'}{\partial \eta}-\frac{\partial M'}{\partial \zeta},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial L'}{\partial \tau}=\frac{\partial Y'}{\partial \zeta}-\frac{\partial Z'}{\partial \eta},$$

$$\frac{1}{V}\left\{u_\eta\rho'+\frac{\partial Y'}{\partial \tau}\right\}=\frac{\partial L'}{\partial \zeta}-\frac{\partial N'}{\partial \xi},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial M'}{\partial \tau}=\frac{\partial Z'}{\partial \xi}-\frac{\partial X'}{\partial \zeta},$$

$$\frac{1}{V}\left\{u_\zeta\rho'+\frac{\partial Z'}{\partial \tau}\right\}=\frac{\partial M'}{\partial \xi}-\frac{\partial L'}{\partial \eta},\qquad \frac{1}{V}\frac{\partial N'}{\partial \tau}=\frac{\partial X'}{\partial \eta}-\frac{\partial Y'}{\partial \xi},$$

此处

$$\frac{u_x-v}{1-\frac{u_xv}{V^2}}=u_\xi,$$

$$\frac{u_y}{\beta\left(1-\frac{u_xv}{V^2}\right)}=u_\eta,$$

$$\frac{u_z}{\beta\left(1-\frac{u_xv}{V^2}\right)}=u_\zeta,$$

$$\rho'=\frac{\partial X'}{\partial \xi}+\frac{\partial Y'}{\partial \eta}+\frac{\partial Z'}{\partial \zeta}=\beta\left(1-\frac{vu_x}{V^2}\right)\rho.$$

因为，——由速度的加法定理（§5）得知——矢量(u_ξ,u_η,u_ζ)只不

① 原文中右面三个方程的左边都少了系数$\frac{1}{V}$。——译者

过是在 k 系中量得的电荷的速度，所以我们就证明了：根据我们的运动学原理，洛伦兹的动体电动力学理论的电动力学基础是符合于相对性原理的。

此外，我还可以简要地说一下，由已经推演得到的方程可以容易地导出下面一条重要的定律：如果一个带电体在空间中无论怎样运动，并且从一个同它一道运动着的坐标系来看，它的电荷不变，那末从“静”系 K 来看，它的电荷也保持不变。

§10.（缓慢加速的）电子的动力学

设有一点状的具有电荷 ϵ 的粒子（以后叫“电子”）在电磁场中运动，我们假定它的运动定律如下：

如果这电子在一定时期内是静止的，在随后的时刻，只要电子的运动是缓慢的，它的运动就遵循如下方程

$$\mu\frac{d^2x}{dt^2}=\epsilon X,$$

$$\mu\frac{d^2y}{dt^2}=\epsilon Y,$$

$$\mu\frac{d^2z}{dt^2}=\epsilon Z,$$

此处 x,y,z 表示电子的坐标，μ 表示电子的质量。

现在，第二步，设电子在某一时期的速度是 v，我们来求电子在随后时刻的运动定律。

我们不妨假定，电子在我们注意观察它的时候是在坐标的原点上，并且沿着 K 系的 X 轴以速度 v 运动着，这样的假定并不影响考查的普遍性。那就很明显，在已定的时刻（$t=0$），电子对于那个以恒定速度 v 沿着 X 轴作平行运动的坐标系 k 是静止的。

从上面所作的假定，结合相对性原理，很明显的，在随后紧接的时间（对于很小的 t 值）里，由 k 系看来，电子是遵照如下方程而运动的：

$$\mu \frac{d^2\xi}{d\tau^2} = \varepsilon X',$$

$$\mu \frac{d^2\eta}{d\tau^2} = \varepsilon Y',$$

$$\mu \frac{d^2\zeta}{d\tau^2} = \varepsilon Z',$$

在这里，$\xi,\eta,\zeta,\tau,X',Y',Z'$这些符号是参照于 k 系的。如果我们进一步规定，当 $t=x=y=z=0$ 时，$\tau=\xi=\eta=\zeta=0$，那末 §3 和 §6 的变换方程有效，也就是如下关系有效：

$$\tau = \beta\left(t - \frac{v}{V^2}x\right),$$

$$\xi = \beta(x - vt), \qquad X' = X,$$

$$\eta = y, \qquad Y' = \beta\left(Y - \frac{v}{V}N\right),$$

$$\zeta = z, \qquad Z' = \beta\left(Z + \frac{v}{V}M\right).$$

借助于这些方程，我们把前述的运动方程从 k 系变换到 K 系，就得到：

$$(A)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2x}{dt^2} = \dfrac{\varepsilon}{\mu}\dfrac{1}{\beta^3}X, \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} = \dfrac{\varepsilon}{\mu}\dfrac{1}{\beta}\left(Y - \dfrac{v}{V}N\right), \\ \dfrac{d^2z}{dt^2} = \dfrac{\varepsilon}{\mu}\dfrac{1}{\beta}\left(Z + \dfrac{v}{V}M\right). \end{cases}$$

依照通常考虑的方法，我们现在来探究运动电子的“纵”质量和“横”质量。我们把方程(A)写成如下形式

$$\mu\beta^3 \frac{d^2x}{dt^2} = \varepsilon X = \varepsilon X',$$

$$\mu\beta^2 \frac{d^2y}{dt^2} = \varepsilon\beta\left(Y - \frac{v}{V}N\right) = \varepsilon Y',$$

$$\mu\beta^2\frac{d^2z}{dt^2}=\epsilon\beta\left(Z+\frac{v}{V}M\right)=\epsilon Z'.$$

首先要注意到，$\epsilon X'$，$\epsilon Y'$，$\epsilon Z'$是作用在电子上的有重动力的分量，而且确是从一个当时同电子一道以同样速度运动着的坐标系中来考查的。(比如，这个力可用一个静止在上述的坐标系中的弹簧秤来量出。)现在如果我们把这个力直截了当地叫做"作用在电子上的力"①，并且保持这样的方程

质量×加速度=力，

而且，如果我们再规定加速度必须在静系 K 中进行量度，那末，由上述方程，我们导出：

$$\text{纵质量}=\frac{\mu}{\left(\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\right)^3},$$

$$\text{横质量}=\frac{\mu}{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\ .$$

当然，用另一种力和加速度的定义，我们就会得到另外的质量数值。由此可见，在比较电子运动的不同理论时，我们必须非常谨慎。

我们觉得，这些关于质量的结果也适用于有重的质点上，因为一个有重的质点加上一个任意小的电荷，就能成为一个(我们所讲的)电子。

我们现在来确定电子的动能。如果一个电子本来静止在 K 系的坐标原点上，在一个静电力 X 的作用下，沿着 X 轴运动，那末很

① 正如 M. 普朗克[于 1906 年——译者]所首先指出来的，这里对力所下的定义并不好。力的比较中肯的定义，应当使动量定律和能量定律具有最简单的形式。——《相对性原理》编者注

清楚，从这静电场中所取得的能量值为$\int \epsilon X dx$。因为这个电子应该是缓慢加速的，所以也就不会以辐射的形式丧失能量，那末从静电场中取得的能量必定都被积贮起来，它等于电子的运动的能量W。由于我们注意到，在所考查的整个运动过程中，(A)中的第一个方程是适用的，我们于是得到：①

$$W=\int \epsilon X dx=\mu\int_0^v \beta^3 dv d=\mu V^2\left\{\frac{1}{\left[\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\right]^3}-1\right\}$$

由此，当$v=V$，W就变成无限大。超光速的速度——像我们以前的结果一样——没有存在的可能。

根据上述的论据，动能的这个式子也同样适用于有重物体(*Ponderable Massen*)。

我们现在要列举电子运动的一些性质，它们都是从方程组(A)得出的结果，并且是可以用实验来验证的。

1. 从(A)组的第二个方程得知，电力Y和磁力N，对于一个以速度ν运动着的电子，当$Y=N\cdot v/V$时，它们产生同样强弱的偏转作用。由此可见，用我们的理论，从那个对于任何速度的磁偏转力A_m同电偏转力A_e的比率，就可测定电子的速度，这只要用到定律：

$$\frac{A_m}{A_e}=\frac{v}{V}.$$

这个关系可由实验来验证，因为电子的速度也是能够直接量出来的，比如可以用迅速振荡的电场和磁场来量出。

2. 从关于电子动能的推导得知，在所通过的势差P同电子所

① 原文中第三式积分符号左边漏了μ。——译者

得到的速度 v 之间，必定有这样的关系：

$$P = \int X dx = \frac{\mu}{\varepsilon} V^2 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}} - 1 \right\}.$$

3. 当存在着一个同电子的速度相垂直的磁力 N 时（作为唯一的偏转力），我们来计算在这磁力作用下的电子路径的曲率半径 R。由 (A) 中的第二个方程，我们得到：

$$-\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{v^2}{R} = \frac{\varepsilon}{\mu} \frac{v}{V} N \sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2},$$

或者

$$R = V^2 \frac{\mu}{\varepsilon} \cdot \frac{\frac{v}{V}}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}} \cdot \frac{1}{N}.$$

根据这里所提出的理论，这三项关系完备地表述了电子运动所必须遵循的定律。

最后，我要声明，在研究这里所讨论的问题时，我曾得到我的朋友和同事贝索（*M. Besso*）①的热诚帮助，要感谢他一些有价值的建议。

---

① M. 贝索与爱因斯坦当时同是伯尔尼专利局的技术人员，他是爱因斯坦一生最亲密的朋友。——译者

广义相对论的基础①

下面所要论述的理论，是对今天一般称之为“相对论”的理论所作的可能想象得到的最为广泛的推广；为便于区别起见，以后我把上述“相对论”称为“狭义相对论”，并且假定它已为大家所熟悉。用了明可夫斯基所给予狭义相对论的形式，相对论的这种推广就变得很容易；这位数学家首先清楚地认识到空间坐标和时间坐标形式上的等价性，并把它应用在建立这一理论方面。广义相对论所需要的数学工具已经在“绝对微分学”中完全具备，这种“绝对微分学”以高斯、黎曼和克里斯托菲关于非欧几里得流形的研究为基础，并由里奇和勒维-契维塔建成一个体系，并且已应用于理论物理学的一些问题上。我在本文的 B 部分中，对于凡是为我们所必需而预期又不为物理学家所熟悉的一切数学工具，都以尽可能简单和明晰的方式进行推导，以便在理解本文时不再需要翻阅数学文献。最后，我在这里要感谢我的朋友数学家格罗斯曼，他不仅代替我研究了有关的数学文献，而且在探索引力场方程方面也给我

① 这是关于广义相对论的第一篇完整的论文，最初发表在1916年的《物理学杂志》(*Annalen der Physik*)，第4编，49卷，769—822页上。当年还出版了一个单行本(*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*，莱比锡，Barth公司出版)。译时参考了洛伦兹、爱因斯坦、明可夫斯基等人的论文集《相对性原理》的英译本(W. Perrett 和 G. B. Jeffery 译)，并请范岱年同志校过。译文最初发表于《爱因斯坦文集》第二卷，商务印书馆，1977年。——译者

以大力支持。

A. 对相对性公设的原则性考查

§1. 对狭义相对论的评述

狭义相对论是以下面的公设为基础的（而伽利略-牛顿的力学也满足这个公设）：如果这样来选取一个坐标系 K，使物理定律参照于这个坐标系得以最简单的形式成立，那末对于任何另一个相对于 K 作匀速平移运动的坐标系 K'，这些定律也同样成立。这条公设我们叫它"狭义相对性原理"。"狭义"(*speziell*)[①]这个词表示这条原理限制在 K' 对 K 作匀**速平移运动**的情况，但 K' 同 K 的等效性并没有扩充到 K' 对 K 作**非匀速**运动的情况。

因此，狭义相对论同古典力学的分歧，不是由于相对性原理，而只是由于真空中光速不变的公设，由这公设，结合狭义相对性原理，以大家都知道的方法，得出了同时性的相对性，洛伦兹变换，以及同它们有关的关于运动的刚体和时钟性状的定律。

狭义相对论使空间和时间的理论所受的修改确实是深刻的，但在一个重要之点却保持原封不动。即使依照狭义相对论，几何定律也都被直接解释为关于（静止）固体可能的相对位置的定律；而且，更一般地把运动学定律解释成为描述量具和时钟之间关系的定律。对于一个静止（刚）体上两个选定的质点，总对应着一个长度完全确定的距离，这距离同刚体所在的地点和它的取向都无关，而且也同时间无关。对于一只同（特许的）参照系相对静止的时钟上两个选定的指针位置，总对应着一个具有一定长度的时间间隔，这

① "*speziell*"，正确的意义是"特殊"。这里根据通常的译法，把"*spezielle Relativitätstheorie*"译为"狭义相对论"。——译者

个间隔同地点和时间无关。我们马上就要指出，广义相对论就不能再固执坚持这种关于空间和时间的简单的物理解释了。

§2. 所以要扩充相对性公设的缘由

在古典力学里，同样也在狭义相对论里，有一个固有的认识论上的缺点，这个缺点恐怕是由 E. 马赫最先清楚地指出来的。我们用下面的例子来阐明它。两个同样大小和同样性质的流质物体在空间自由地飘荡着，它们相互之间（以及同一切别的物体）的距离都是如此之大，以致只要考虑各个物体自身各部分相互作用的那些引力就行了。设这两物体之间的距离不变。各个物体自身的各部分彼此不发生相对运动。但当这两物体中的任何一个——从对另一物体相对静止的观察者来判断——以恒定的角速度绕着两者的连线在转动（这是一种可以验证的两个物体的相对运动）。现在让我们设想，借助于一些（相对静止的）量杆来测定这两个物体（S_1 和 S_2）的表面；结果是 S_1 的表面是球面，而 S_2 的表面是回转椭球面。

现在我们要问：为什么这两物体 S_1 和 S_2 的性状有这样的差别呢？对于这个问题的答案所根据的事实只有它是**可观察的经验事实时**，才能在认识论上被认为是令人满意的答案；[①]因为，只有当**可观察到的事实**最终表现为原因和结果时，因果律才具有一个关于经验世界的陈述的意义。

牛顿力学在这问题上没有作出令人满意的答案。它的说法如下。对于物体 S_1 对之是静止的那个空间 R_1，力学定律是适用的；但对于物体 S_2 是静止的空间 R_2，则不适用。但这样引进（对它作相对运动的）特许的伽利略空间 R_1，不过是一种**纯虚构**的原因，而

① 这种在认识论上令人满意的答案，如果它同别的经验有矛盾，当然在物理上还是靠不住的。——原注

不是可被观察的事实。因此显然，在所考查的情况下，牛顿力学实际上并不满足因果性的要求，而只是表面上满足而已，因为它用纯虚构的原因 R_1 来说明 S_1 和 S_2 两物体的可观察到的不同性状。

对上述问题的一个令人满意的答案只能这样说：由 S_1 和 S_2 所组成的物理体系，仅仅由它本身显示不出任何可想象的原因，能说明 S_1 和 S_2 的这种不同性状。所以这原因必定是在这个体系的**外面**。我们得到这样一种理解，即认为那个特别决定着 S_1 和 S_2 形状的普遍的运动定律必定是这样的：S_1 和 S_2 的力学性状在十分主要的方面必定是由远处的物体共同决定的，而我们没有把这些物体估计在所考查的这个体系里。这些远处的物体（以及它们对所考查物体的相对运动），就被看成是我们所考查的这两个物体 S_1 和 S_2 有不同性状的原因所在，并且原则上是可被观察的；它们承担着那个虚构的原因 R_1 的作用。如果要不使上述认识论的指摘再复活起来，一切可想象的、彼此相对作任何一类运动的空间 R_1，R_2 等之中，就没有一个可以先验地被看成是特许的。**物理学的定律必须具有这样的性质，它们对于无论以哪种方式运动着的参照系都是成立的**。循着这条道路，我们就到达了相对性公设的扩充。

除了这个有分量的认识论的论证外，还有一个为扩充相对论辩护的著名的物理事实。设 K 是一个伽利略参照系，那是这样的一种参照系，相对于它（至少在所考查的四维区域内），有一个同别的物体离得足够远的物体在作直线的匀速运动。设 K' 是第二个坐标系，它相对于 K **作均匀加速**的平移运动。因此，一个离开别的物体足够远的物体，相对于 K' 该有一加速运动，而其加速度及其加速度的方向都同这一物体的物质组成和物理状态无关。

一位对 K' 相对静止的观察者能否由此得出结论，说他是在一个"真正的"加速参照系之中呢？回答是否定的；因为相对于 K' 自由运动的物体的上述性状可以用下面的方式作同样恰当的解释。参照系 K' 不是加速的；可是在所讨论的时间-空间领域里有一个

引力场在支配着，它使物体得到了相对于 K' 的加速运动。

这种观点所以成为可能，是因为经验告诉我们，存在一种力场（即引力场），它具有给一切物体以同样的加速度那样一种值得注意的性质。①物体相对于 K' 的力学性状，同在那些被我们习惯上当作“静止的”或者当作“特许的”参照系中所经验到的物体的力学性状，都是一样的。因此，从物理学的立场看来，就很容易承认，K 和 K' 这两参照系都有同样的权利可被看作是“静止的”，也就是说，作为对现象的物理描述的参照系，它们都有同等的权利。

根据这些考虑，就会看到，广义相对论的建立，同时必定会导致一种引力论；因为我们只要仅仅改变坐标系就能“产生”一种引力场。我们也就立即可知，真空中光速不变原理必须加以修改。因为我们不难看出，如果参照 K，光是以一定的不变速度沿着直线传播，那末参照于 K'，光线的路程一般必定是曲线。

§3. 空间-时间连续区。表示自然界普遍规律的方程所要求的广义协变性

在古典力学里，同样在狭义相对论里，空间和时间的坐标都有直接的物理意义。一个点事件的 X_1 坐标为 x_1，它的意思是说：当我们在（正的）X_1 轴上把一根选定的杆（单位量杆）从坐标原点起挪动 x_1 次，就得到用刚性杆按欧几里得几何规则所定的这一点事件在 X_1 轴上的投影。一个点事件②的 X_4 坐标为 $x_4=t$，它的意思是说：用一只按一定规则校准过的单位钟，它对于坐标系是相对静

① 厄缶（Eötvös）实验证明，引力场非常精确地具有这一性质。——原注

② 原文是“一个点”。——译者

止地放着的，并且在空间中（实际上）同这点事件相重合的，[①]当这事件发生时，单位钟经历了 $x_4=t$ 个周期。

空间和时间的这种理解总是浮现在物理学家的心里，尽管他们大多数并不意识到这一点，这可以从这两个概念在量度的物理学中所起的作用清楚地看到。读者必须以这种理解作为前一节的第二种考虑的基础，他才能把那里得出的东西给以一种意义。但是我们现在要指出：如果狭义相对论切合于那种不存在引力场的极限情况，那末，为了使广义相对性公设能够贯彻到底，我们就必须把这种观念丢在一旁，而代之以一种更加广泛的观念。

在一个没有引力场的空间里，我们引进一个伽利略参照系 $K(x,y,z,t)$，此外又引进一个对 K 作相对均匀转动的坐标系 $K'(x',y',z',t')$。设这两个[参照]系的原点以及它们的 Z 轴都永远重合在一起。我们将要证明，对于 K' 系中的空间-时间量度，关于长度和时间的物理意义的上述定义不能维持。由于对称的缘故，在 K 的 X-Y 平面上一个绕着原点的圆，显然也可以同时被认为是 K' 的 X' Y' 平面上的圆。现在我们设想，这个圆的周长和直径，用一个（比起半径来是无限小的）单位量杆来量度，并且作这两个量度结果的商。倘若我们是用一根相对静止于伽利略坐标系 K 的量杆来做这个实验的，那末我们得到的这个商的值该是 π。如用一根同 K' 相对静止的量杆来量，这商就要大于 π。这是不难理解的，只要我们是由"静"系 K 来判断整个量度过程，并且考虑到量度圆周时，量杆要受到洛伦兹收缩，而量度半径时则不会。因此，欧几里得几何不适用于 K'；前面所定义的坐标观念，它以欧几里得几何的有效性作为前提，所以对于 K' 系说来，它就失效了。我们同样很少

① 我们假定对于空间里贴近的，或者——比较严格地说——对于空间-时间里贴近的或者相重合的事件，可能验证"同时性"，而用不着给这个基本概念下定义。——原注

可能在 K' 中引进一种用一些同 K' 相对静止的而性能一样的钟来表示的合乎物理要求的时间。为了理解这一点，我们设想在坐标原点和圆周上各放一只性能一样的钟，并且从"静"系 K 来观察。根据狭义相对论的一个已知的结果，在圆周上的钟——从 K 来判断——要比原点上的钟走得慢些，因为前一只钟在运动，而后一只钟则不动。一个处在公共坐标原点上的观测者，如果他又能够用光来观察圆周上的钟，他就会看出那只在圆周上的钟比他身边的钟要走得慢。由于他不会下决心让沿着所考查的这条路线上的光速明显地同时间有关，于是他将把他所观察到的结果解释成为在圆周上的钟"真是"比原点上的钟走得慢些。因此他不得不这样来定义时间：钟走的快慢取决于它所在的地点。

我们因此得到这样的结果：在广义相对论里，空间和时间的量不能这样来定义，即以为空间的坐标差能用单位量杆直接量出，时间的坐标差能用标准钟量出。

迄今所用的，以确定的方式把坐标安置在时间空间连续区里的方法，由此失效了，而且似乎没有别的方法可让我们把坐标来这样适应于四维世界，使得我们可以通过它们的应用而期望得到一个关于自然规律的特别简明的表述。所以，对于自然界的描述，除了把一切可想象的①坐标系都看作在原则上是具有同样资格的，此外就别无出路了。这就要求：

普遍的自然规律是由那些对一切坐标系都有效的方程来表示的，也就是说，它们对于无论哪种代换②都是协变的（广义协变）。

显然，凡是满足这条公设的物理学，也会适合于广义相对性公设的。因为在全部代换中总也包括了那样一些代换，这些代换同（三维）坐标系中一切相对运动相对应。从下面的考虑可以看出，去

① 这里我们不说那些合乎一一对应及其连续性的要求的限制。——原注

② 指坐标的代换（变换）。——译者

掉空间和时间最后一点物理客观性残余的这个广义协变性的要求，是一种自然的要求。我们对于时间空间的一切确定，总是归结到对时间空间上的重合所作的测定。比如，要是只存在由质点运动组成的事件，那末，除了两个或者更多个这些质点的会合外，就根本没有什么东西可观察的了。而且，我们的量度结果无非是确定我们量杆上的质点同别的质点的这种会合，确定时钟的指针、钟面标度盘上的点，以及所观察到的在同一地点和同一时间发生的点事件三者的重合。

参照系的引进，只不过是用来便于描述这种重合的全体。我们以这样的方式给世界配上四个时间空间变数 x_1, x_2, x_3, x_4，使得每一个点事件都有一组变数 $x_1 \cdots x_4$ 的值同它对应。两个相重合的事件则对应同一组变数 $x_1 \cdots x_4$ 的值；也就是说，重合是由坐标的一致来表征的。如果我们引进变数 $x_1 \cdots x_4$ 的函数 x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 作为新的坐标系来代替这些变数，使这两组数值一一对应起来，那末，在新坐标系中所有四个坐标的相等也都表示两个点事件在空间时间上的重合。由于我们的一切物理经验最后都可归结为这种重合，首先就没有什么理由要去偏爱某些坐标系，而不喜欢别的坐标系，这就是说，我们达到了广义协变性的要求。

§4. 四个坐标同空间和时间量度结果的关系。引力场的分析表示

在这个讨论中，我的目的不在于把广义相对论表述为一个用到公理最少的尽可能简单的、合乎逻辑的体系。我的主要目的却在于要这样来发展这一理论，使读者对所选的这条道路在心理上有自然的感觉，而且作为基础的那些假定看来是由经验尽量地保证的。在这种意义下，现在不妨引进这样的假定：

对于无限小的四维区域，如果坐标选择得适当，狭义相对论是

适合的。

为此，必须这样来选取无限小的（“局部的”）坐标系的加速状态，使引力场不会出现；这对于无限小区域是可能的。设 X_1，X_2，X_3，是空间坐标；X_4 是用适当的标度量得的所属时间坐标。①如果设想有一根刚性小杆作为单位量杆，那末在给定这坐标系的取向时，这些坐标在狭义相对论的意义下就有直接的物理意义。按照狭义相对论，表示式

(1) $$ds^2=-dX_1^2-dX_2^2-dX_3^2+dX_4^2$$

就有一个同局部坐标系的取向无关而可由空间-时间量度来确定的值。我们称 ds 为属于这个四维空间的一些无限邻近点之间的线元的值。如果属于微元($dX_1\cdots dX_4$)的 ds^2 是正的，那末我们照明可夫斯基的先例，叫它是类时间的(*zeitartig*)；如果是负的，我们就叫它是类空间的(*raumartig*)。

属于上述“线元”或者两个无限邻近点事件的，还有所选定参照系的四维坐标的确定的微分 $dx_1\cdots dx_4$，如果这个坐标系以及具有上述性质的一个“局部”坐标系，对于所考查的区域都是给定了的，那末 dX_ν 在这里就可用 dx_σ 的一定的线性齐次式来表示：

(2) $$dX_\nu=\sum_\sigma a_{\nu\sigma}\,dx_\sigma,$$

把这些式子代入(1)，我们就得到

(3) $$ds^2=\sum_{\sigma\tau}g_{\sigma\tau}\,dx_\sigma\,dx_\tau,$$

此处 $g_{\sigma\tau}$将是 x_σ 的函数。这些函数可以不再取决于“局部”坐标系的取向和它的运动状态；因为 ds^2 是一个可由量杆-时钟量度而得出的量，是一个从属于所考查的时间空间上无限邻近的点事件，而且它的定义同任何特殊的坐标选取无关的量。这里 $g_{\sigma\tau}$要这样选

① 时间单位是这样选定的，使得——在这“局部”坐标系中所量得的——真空中的光速等于1.——原注

取，使得 $g_{\sigma\tau}=g_{\tau\sigma}$；累加遍及 σ 和 τ 的一切数值，所以总和是由 4×4 个项构成，其中有 12 个项是成对地相等的。

由于 $g_{\sigma\tau}$在非无限小①区域里具有特殊的性状.如果在这个区域里有可能这样来选取坐标系，使得 $g_{\sigma\tau}$具有如下的常数值：

$$
(4)\quad \begin{cases} -0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +1, \end{cases}
$$

那末从这里所考查的特例就得出通常的相对性理论的情况。我们以后会发现，这样的坐标选择，对于非无限小的区域一般是不可能的。

从 §2 和 §3 的考查得知，$g_{\sigma\tau}$这些量，从物理学的立场来看，应该看作是参照于所选参照系描述引力场的量。因为如果我们现在假定，在适当选取坐标的情况下，狭义相对论对于某一个被考查的四维区域是适合的，那末 $g_{\sigma\tau}$就具有(4)中的规定的值。因此，对于这个坐标系来说，自由质点是在作直线匀速运动。如果我们现在通过一种任意的代换，引进新的空间-时间坐标 x_1，x_2，x_3，x_4，那末，$g_{\sigma\tau}$在新坐标系中将不再是常数，而是空间-时间的函数。同时，自由质点的运动在新坐标中将表现为曲线的非匀速运动，而这种运动规律同运动质点的本性无关。我们因此把这种运动解释为在引力场影响下的运动。我们从而发现，引力场的出现是同 $g_{\sigma\tau}$的空间时间变异性联系在一起的。而且，在一般情况下，当我们不再能通过坐标的适当选取而把狭义相对论应用到非无限小区域上去的时候，我们将坚持这样的观点，即认为 $g_{\sigma\tau}$是描述引力场的。

---

① 原文是“有限”，但通常理解的“有限”只是同“无限大”相对立的，似乎包括了零和“无限小”。而这里的“有限”恰是同接近于零的“无限小”相对立的，为了避免误解，所以译成“非无限小”。——译者

因而，根据广义相对论，引力同别的各种力，尤其是同电磁力相比，它扮演一个特殊的角色，因为表示引力场的 10 个函数 $g_{\sigma\tau}$，同时也规定了四维量度空间（*Messraum*）的度规（*Metrik*）性质。

B. 建立广义协变方程的数学工具

在前面我们看到了，广义相对性公设导致这样的要求，即物理方程组对于坐标 $x_1 \cdots x_4$ 的任何代换都必须是协变的，现在我们就必须考虑怎样才能得到这种广义协变方程。我们现在要转到这种纯粹的数学问题上来；我们会发现，在解决这问题时，方程(3)所给的不变量 ds 扮演着主要的角色，仿照高斯的曲面论，我们叫它“线元”。

这个广义协变理论的基本思想如下。设对于任一坐标系，有某些东西（“张量”）是用一些叫做张量“分量”的空间函数来定义的。如果这些分量对于原来的坐标系是已知的，而且联系原来的和新的坐标系之间的变换也是已知的，那末就存在一些确定的规则，根据这些规则可算出关于新坐标系的分量。这些以后叫做张量的东西，由于它们的分量的变换方程都是线性的和齐次的，而进一步显示出其特征。由此可知，如果全部分量在原来的坐标系中都等于零，那末它们在新坐标系中也都全部等于零。所以，如果有一自然规律，它是由一个张量的一切分量都等于零来表述的，那末它就是广义协变的；通过对张量形成规则的考查，我们就得到了建立广义协变定律的方法。

§5. 抗变的和协变的四元矢量

抗变四元矢量 线元是由四个“分量”dx_ν 来定义的，这些分量的变换规则由下列方程来表示

(5)
$$dx'_\sigma=\sum_\nu \frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\nu}dx_\nu.$$

这些dx'_σ表示为dx'_ν的线性齐次函数。因此我们可以把这些坐标微分看成是一种"张量"的分量，这种张量我们特别叫它抗变四元矢量。凡是对于坐标系用四个量A^ν来定义的，并且以同样的规则

(5a)
$$A^{\sigma\prime}=\sum_\nu \frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\nu}A^\nu$$

来变换的东西，我们也叫它抗变四元矢量。从(5a)立即得知，如果A^σ和B^σ都是一个四元矢量的分量，那末它们的和($A^\sigma\pm B^\sigma$)也该是四元矢量的分量。对于一切以后引进作为"张量"的体系，相应的关系都成立(张量的加法和减法规则)。

协变四元矢量　如果对于每个任意选取的抗变四元矢量B^ν，有四个量A_ν，使

(6)
$$\sum_\nu A_\nu B^\nu=\text{不变量},$$

那末我们叫A_ν是一个协变四元矢量的分量。由这个定义得出协变四元矢量的变换规则。因为，如果我们把方程

$$\sum_\sigma A_\sigma' B^{\sigma\prime}=\sum_\nu A_\nu B^\nu$$

右边的B_ν代之以由方程(5a)的反演变换后所得出的下式

$$\sum_\sigma \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\sigma}B^{\sigma\prime},$$

我们就得到

$$\sum_\sigma B^{\sigma\prime}\sum_\nu \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\sigma}A_\nu=\sum_\tau B^{\sigma\prime}A'_\sigma$$

但是因为在这方程中$B^{\sigma\prime}$都是可以互不相依地自由选定的，由此就得出变换规则

(7)
$$A'_\sigma=\sum_\nu \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\sigma}A_\nu\,.$$

关于表示式书写方法的简化的注释　　看一下这一节的方程

就会明白，对于那个在累加符号后出现两次的指标（比如(5)中的指标 ν），总是被累加起来的，而且确实也只对于出现两次的指标进行累加。因此就能够略去累加符号，而不丧失其明确性。为此我们引进这样的规定：除非作了相反的声明，否则，凡在式子的一个项里出现两次的指标，总是要对这指标进行累加的。

协变四元矢量同抗变四元矢量之间的区别在于变换规则（分别是(7)或者是(5)）。在上述一般性讨论的意义上，这两种形式都是张量；它们的重要性就在于此。仿照里奇和勒维-契维塔，我们把指标放在上面以表示抗变性、放在下面则表示协变性。

§6. 二秩和更高秩的张量

抗变张量　如果我们对两个抗变四元矢量的分量 A^μ 和 B^ν 来构造所有 16 个乘积 $A^{\mu\nu}$

(8)
$$A^{\mu\nu}=A^\mu B^\nu,$$

那末，按照(8)和(5a)，$A^{\mu\nu}$满足变换规则

(9)
$$A^{\sigma\tau\prime}=\frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\mu}\frac{\partial x'_\tau}{\partial x_\nu}A^{\mu\nu}.$$

凡是相对于任何参照系，用 16 个量（函数）来描述的，并且满足变换规则(9)的东西，我们都叫它二秩抗变张量。不是每一个这种张量都是可以由两个四元矢量依照(8)来形成的。但不难证明，任何已知的 16 个 $A^{\mu\nu}$都能表示为四对经过适当选取的四元矢量的 $A^\mu B^\nu$ 的和。因此，我们能够最简单地证明几乎所有适用于(9)所定义的二秩张量的命题，只要我们能够证明这些命题是适用于类型(8)的特殊张量就行了。

任意秩的抗变张量　很明显，相应于(8)和(9)，三秩和更高秩的张量分别可用 4^3 个分量或更多个分量来定义。同样，从(8)和(9)可以明显看出，抗变四元矢量在这个意义上可看成是一秩的抗

变张量。

协变张量　另一方面，如果我们构造两个协变四元矢量 A_μ 和 B_ν 的 16 个乘积 $A_{\mu\nu}$，

$$A_{\mu\nu}=A_\mu B_\nu, \tag{10}$$

那末，对于这些乘积的变换规则是

$$A'_{\sigma\tau}=\frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma}\frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\tau}A_{\mu\nu}. \tag{11}$$

这个变换规则定义了二秩的协变张量。我们前面关于抗变张量所说的，也全部适用于协变张量。

附注　把标量（不变量）当作零秩的抗变张量或零秩的协变张量来处理是适当的。

混合张量　我们也可以定义一种这样类型的二秩张量

$$A_\mu^\nu=A_\mu B^\nu, \tag{12}$$

它对于指标 μ 是协变的，而对于指标 ν 则是抗变的。它的变换规则是

$$A_\sigma'^{\tau}=\frac{\partial x_\tau'}{\partial x_\beta}\frac{\partial x_\alpha}{\partial x_\sigma'}A_\alpha^\beta. \tag{13}$$

自然存在着具有任意多个协变性指标和任意多个抗变性指标的混合张量。协变张量和抗变张量可以看成是混合张量的特殊情况。

对称张量　一个二秩的或者更高秩的抗变张量或者协变张量，如果由任何两个指标相互对调而产生的两个分量都是相等的，那末就说它是**对称**的。如果对于指标 μ,ν 的每一组合都有：

$$A^{\mu\nu}=A^{\nu\mu}, \tag{14}$$

或者

$$A_{\mu\nu}=A_{\nu\mu}, \tag{14a}$$

那末张量 $A^{\mu\nu}$ 或者张量 $A_{\mu\nu}$ 就是对称的。

必须证明：由此定义的对称性，是一种同参照系无关的性质。其实，只要考虑到(14)，就可从(9)得到

$$A'^{\sigma\tau}=\frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\mu}\frac{\partial x'_\tau}{\partial x_\nu}A^{\mu\nu}=\frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\mu}\frac{\partial x'_\tau}{\partial x_\nu}A^{\nu\mu}=\frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\nu}\frac{\partial x'_\tau}{\partial x_\mu}A^{\mu\nu}=A'^{\tau\sigma}$$

倒数第二个等式是以累加指标 μ 和 ν 的对调为根据的(就是说，它仅仅以记号的变更为根据)。

反对称张量 一个二秩、三秩，或者四秩的抗变张量或者协变张量，如果由任何两个指标相互对调而产生的两个分量是**反号等值**的，那末就说它是反对称的。对于张量 $A^{\mu\nu}$ 或者张量 $A_{\mu\nu}$，如果总是(15)

$$A^{\mu\nu}=-A^{\nu\mu},$$

或者

(15a)

$$A_{\mu\nu}=-A_{\nu\mu},$$

那末它就是反对称的。

在 16 个分量 $A^{\mu\nu}$ 当中有四个分量 $A^{\mu\mu}$ 是等于零；其余的都是一对对反号等值的，这样就只存在六个数值上不同的分量(六元矢量)。同样，我们看得出，(三秩的)反对称张量 $A^{\mu\nu\sigma}$ 只有四个数值上不同的分量，而反对称张量 $A^{\mu\nu\sigma\tau}$ 只有一个分量。在四维连续区内，不存在高于四秩的反对称张量。

§7. 张量的乘法

张量的外乘法 设有一个 z 秩的张量和一个 z' 秩的张量，我们把第一个张量的每一分量同第二个张量的每一分量成对地相乘，就得到一个 $z+z'$ 秩张量的分量。比如，由两个不同种类的张量 A 和 B，可得出张量 T

$$T_{\mu\nu\sigma}=A_{\mu\nu}B_\sigma,$$

$$T^{\alpha\beta\gamma\delta}=A^{\alpha\beta}B^{\gamma\delta},$$

$$T^{\gamma\delta}_{\alpha\beta}=A_{\alpha\beta}B^{\gamma\delta}.$$

从(8),(10),(12)这些表示式,或者从变换规则(9),(11),(13),可直接证明 T 的张量特征。方程(8),(10),(12)本身就是(一秩张量的)外乘法的例子。

混合张量的“降秩” 任何一个混合张量,当我们把它的一个协变性的指标同一个抗变性的指标相等,并对这个指标累加起来,这样就构成一个比原来的张量低二秩的张量(“降秩”)。比如,由四秩的混合张量 $A_{\alpha\beta}^{\gamma\delta}$,我们可得二秩的混合张量,

$$A_{\beta}^{\delta} = A_{\alpha\beta}^{\alpha\delta}\left(= \sum_{\alpha} A_{\alpha\beta}^{\alpha\delta}\right),$$

通过再一次降秩,由此得到零秩的张量,

$$A = A_{\beta}^{\beta} = A_{\alpha\beta}^{\alpha\beta}.$$

或者按照(12)的普遍形式连同(6)所示的张量表示式,或者按照(13)的普遍形式,可以证明降秩的结果确实具有张量特征。

张量的内乘法和混合乘法 这两种乘法都在于把外乘法和降秩结合起来。

例子 由二秩的协变张量 $A_{\mu\nu}$ 和一秩的抗变张量 B^{σ},我们可用外乘法构成混合张量

$$D_{\mu\nu}^{\sigma} = A_{\mu\nu}B^{\sigma}.$$

通过对指标 ν 和 σ 的降秩,就得出协变四元矢量

$$D_{\mu} = D_{\mu\nu}^{\nu} = A_{\mu\nu}B^{\nu}.$$

我们也称它为张量 $A_{\mu\nu}$ 同 B^{σ} 的内积。相类似的,由张量 $A_{\mu\nu}$ 和 $B^{\sigma\tau}$,通过外乘法和二次降秩,我们可构成内积 $A_{\mu\nu}B^{\mu\nu}$。通过外乘法和一次降秩,我们由 $A_{\mu\nu}$ 和 $B^{\sigma\tau}$ 得到二秩混合张量 $D_{\mu}^{\tau} = A_{\mu\nu}B^{\nu\tau}$。我们可以恰当地称这种运算为混合运算;因为它对于指标 μ 和 τ 是“外”乘的,对于指标 ν 和 σ 则是“内”乘的。

我们现在要证明一个时常用来作为证实张量特征的命题。依照刚才所解释的,如果 $A_{\mu\nu}$ 和 $B^{\sigma\tau}$ 都是张量,那末 $A_{\mu\nu}B^{\mu\nu}$ 则是一个标量。但是我们也可断定:**对于任意选取的张量** $B^{\mu\nu}$,如果 $A_{\mu\nu}B^{\mu\nu}$

是一个不变量，那末 $A_{\mu\nu}$ 具有张量特征。

证明——对于任何代换，由假设，得到

$$A'_{\sigma\tau}B'^{\sigma\tau}=A_{\mu\nu}B^{\mu\nu}.$$

但是根据(9)的反演

$$B^{\mu\nu}=\frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma}\frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\tau}B'^{\sigma\tau}.$$

把它代入上面的方程，就得到：

$$\left(A'_{\sigma\tau}-\frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma}\frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\tau}A_{\mu\nu}\right)B'^{\sigma\tau}=0\,.$$

要使这关系对于任意选取的 $B'^{\sigma\tau}$ 都成立，那只有使括号等于零。由此，考虑到(11)，就得出那个论断。

这个命题对于任何秩和任何特征的张量都相应地成立，其证明总可类似地推得。

这命题同样可以用这样的形式来证明：设 B^μ 和 C^ν 是任意的矢量，而且对于这两个矢量的任意选取，其内积

$$A_{\mu\nu}B^\mu C^\nu$$

是一个标量，那末 $A_{\mu\nu}$ 是一个协变张量。只要对于这样一个比较特殊的论断，即对于任意选取的四元矢量 B^μ，内积

$$A_{\mu\nu}B^\mu B^\nu$$

是一个标量，并且如果还知道 $A_{\mu\nu}$ 满足对称性条件 $A_{\mu\nu}=A_{\nu\mu}$，那末上述这个命题也还是成立的。因为由上述方法，我们可证明 $(A_{\mu\nu}+A_{\nu\mu})$ 的张量特征，而从这里，由于对称性，就得知 $A_{\mu\nu}$ 的张量特征。这命题也不难推广到任何秩的协变张量和抗变张量的情况。

最后，由这证明得出一个同样可推广到任何张量上去的命题：如果对于任意选取的四元矢量 B^ν，$A_{\mu\nu}B^\nu$ 这些量构成一个一秩的张量，那末 $A_{\mu\nu}$ 是一个二秩的张量。因为，如果 C^μ 是一个任意的四元矢量，那末，由于 $A_{\mu\nu}B^\nu$ 的张量特征，对于无论怎样选定的两个四元矢量 B^ν 和 C^μ，内积 $A_{\mu\nu}B^\nu C^\mu$ 总是一个标量。由此就得到了这

个断言。

§8. 基本张量 $g_{\mu\nu}$ 的一些特性

协变基本张量 在线元平方的不变式

$$ds^2 = g_{\mu\nu}dx_\mu dx_\nu$$

中，dx_μ 起着一个可任意选取的抗变矢量的作用。又由于 $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$，从上一节的考查由此得出，$g_{\mu\nu}$ 是一个二秩的协变张量。我们叫它"基本张量"。下面我们导出这张量的一些性质，而这些性质确是任何二秩张量所固有的。但是，在我们的以万有引力作用的特殊性为其物理基础的理论中，基本张量扮演着特殊的角色，这就必然地导致这样的情况，即所要发展的关系只有在基本张量的场合下对我们才是重要的。

抗变基本张量 在由元素 $g_{\mu\nu}$ 构成的行列式中，如果我们取出每个 $g_{\mu\nu}$ 的余因子，并且对它除以行列式 $g = |g_{\mu\nu}|$，这样我们就得到某些量 $g^{\mu\nu}(=g^{\nu\mu})$，我们将要证明，这些量构成一个反变张量。

由行列式的一个著名性质

$$g_{\mu\sigma}g^{\nu\sigma} = \delta_\mu^\nu, \tag{16}$$

此处符号 δ_μ^ν 根据 $\mu=\nu$ 或者 $\mu\neq\nu$，而表示 1 或者 0，我们于是也可以把前面关于 ds^2 的式子改写成

$$g_{\mu\sigma}\delta_\nu^\sigma dx_\mu dx_\nu,$$

或者，由(16)，也可写成

$$g_{\mu\sigma}g_{\nu\tau}g^{\sigma\tau}dx_\mu dx_\nu.$$

但由前几节的乘法规则，

$$d\xi_\sigma = g_{\mu\sigma}dx_\mu$$

这些量构成一个协变四元矢量，而且(由于 dx_μ 的任意选取性)它确是一个任意选取的四元矢量。把它引进我们的式子里，我们就得到

$$ds^2 = g^{\sigma\tau} d\xi_\sigma d\xi_\tau.$$

由于对于任意选取的矢量 $d\xi_\sigma$ 这是一个标量，而且 $g^{\sigma\tau}$ 根据定义对于指标 σ 和 τ 是对称的，所以从上一节的结果就可得知 $g^{\sigma\tau}$ 是一个抗变张量。由(16)，还可得知 δ_μ^ν 也是一个张量，我们可以叫它混合基本张量。

基本张量的行列式 由行列式的乘法规则

$$|g_{\mu\alpha} g^{\alpha\nu}| = |g_{\mu\alpha}| \, |g^{\alpha\nu}|.$$

另一方面，

$$|g_{\mu\alpha} g^{\alpha\nu}| = |\delta_\mu^\nu| = 1.$$

因此得到

(17) $$|g_{\mu\nu}| \, |g^{\mu\nu}| = 1.$$

体积不变量 我们先探求行列式 $g = |g_{\mu\nu}|$ 的变换规则。根据(11)，

$$g' = \left| \frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma} \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\tau} g_{\mu\nu} \right|.$$

由此，通过两次应用乘法规则，就得出

$$g' = \left| \frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma} \right| \left| \frac{\partial x_\nu}{\partial x'_\tau} \right| |g_{\mu\nu}| = \left| \frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma} \right|^2 g,$$

或者

$$\sqrt{g'} = \left| \frac{\partial x_\mu}{\partial x'_\sigma} \right| \sqrt{g}.$$

另一方面，体积元①

$$d\tau = dx_1 dx_2 dx_3 dx_4$$

的变换规则，根据著名的雅科毕定理，是

$$d\tau' = \left| \frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\mu} \right| d\tau.$$

① 德文本中下式左边为 $d\tau'$，英译本则在右边误加了一个积分号。——译者

将这最后两个方程相乘，我们得到

(18) $$\sqrt{g'}\,d\tau' = \sqrt{g}\,d\tau.$$

以后我们采用的不是$\sqrt{g}$，而是$\sqrt{-g}$这个量，由于时空连续区的双曲特征，这个量总有一个实数值。不变量$\sqrt{-g}d\tau$，等于在"局部参照系"中用狭义相对论意义上的刚性量杆和时钟所量出的四维体积元的量。

关于空间-时间连续区特征的注释 我们的假定，说在无限小的区域里，狭义相对论总是成立的，这意味着ds^2总能够遵照(1)用实数量$dX_1,\cdots,dX_4$来表示。如果我们用$d\tau_0$来代表"自然的"体积元dX_1,dX_2,dX_3,dX_4，那末

(18a) $$d\tau_0 = \sqrt{-g}\,d\tau.$$

假如$\sqrt{-g}$在四维连续区中的某点处会等于零，这就意味着，在这一点上，一个无限小的"自然的"体积对应于一个非无限小的坐标体积。这种情况是决不会出现的，因此g不能改变其正负号。我们要在狭义相对论的意义上假定，g总有一非无限小的负值，这是一个关于所考查的连续区的物理本性的假设，同时也是一个关于坐标选择的约定。

但如果$-g$总是正的并且是非无限小的，那就自然会后验地(*a posteriori*)作这样的坐标选取，使得这个量等于1。我们以后会看到，通过对坐标的这种限制，就能使自然规律大大简化。于是代替(18)的，是简单的

$$d\tau' = d\tau,$$

由此，考虑到雅科毕定理，就得到

(19) $$\left|\frac{\partial x'_\sigma}{\partial x_\mu}\right| = 1.$$

因此，对于这样的坐标选取，只有那些使这行列式等于1的坐标代换才是允许的。

但要是相信这一步骤意味着要部分放弃广义相对性公设，那

就错了。我们不是问："对于行列式等于1的一切变换都是协变的那些自然规律是怎样的?"而我们要问的是："广义协变的自然规律是怎样的?"等到我们建立起了这些规律以后，我们才通过参照系的特别选取来简化它们的表示式。

用基本张量来构成新的张量 通过基本张量同一个张量的内乘、外乘和混合乘法得出不同特征和不同秩的张量。

例子：
$$A^{\mu}=g^{\mu\sigma}A_{\sigma},$$
$$A=g_{\mu\nu}A^{\mu\nu}.$$

特别应当指出的是下列形式：
$$A^{\mu\nu}=g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}A_{\alpha\beta},$$
$$A_{\mu\nu}=g_{\mu\alpha}g_{\nu\beta}A^{\alpha\beta}.$$

(它们分别是协变和抗变张量的"余"张量)，以及
$$B_{\mu\nu}=g_{\mu\nu}g^{\alpha\beta}A_{\alpha\beta}.$$

我们叫$B_{\mu\nu}$是"有关$A_{\mu\nu}$的缩减张量"。同样得到
$$B^{\mu\nu}=g^{\mu\nu}g_{\alpha\beta}A^{\alpha\beta}.$$

要注意的是，$g^{\mu\nu}$不过是$g_{\mu\nu}$的余张量，因为
$$g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}g_{\alpha\beta}=g^{\mu\alpha}\delta_{\alpha}^{\nu}=g^{\mu\nu}.$$

§9. 短程线方程(关于质点的运动)

因为"线元"ds这个量的定义同坐标系无关，所以四维连续区中两个点P和P'之间，使$\int ds$是一极值的联线[短程线(*geodätische Linie*)]所具有的意义，也是同坐标的选取无关的。它的方程是

$$\delta\left\{\int_{P_1}^{P_2}ds\right\}=0. \tag{20}$$

用通常的办法进行变分，我们就从这个方程得到决定这条短程线的四个全微分方程；为了完备起见，这里要插进这个运算。设λ是坐标x_{ν}的一个函数；它定义这样一族曲面，这个曲面族同所探求

的短程线相交，也同一切无限靠近这条短程线并且通过 P_1 和 P_2 两点的联线相交。因此，每一条这样的曲线都可设想为由它的表示为 λ 的函数的坐标 x_ν 来确定。设符号 δ 表示从所要求的短程线上一个点到邻近一条曲线上属于同一 λ 的一个点的过渡。这样，(20)可由

(20a)
$$\begin{cases} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \delta w d\lambda = 0, \\ w^2 = g_{\mu\nu} \dfrac{dx_\mu}{d\lambda} \dfrac{dx_\nu}{d\lambda} \end{cases}$$

来代替。但由于

$$\delta w = \frac{1}{w}\left\{\frac{1}{2}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{dx_\mu}{d\lambda}\frac{dx_\nu}{d\lambda}\delta x_\sigma + g_{\mu\nu}\frac{dx_\mu}{d\lambda}\delta\left(\frac{dx_\nu}{d\lambda}\right)\right\},$$

那末，考虑到

$$\delta\left(\frac{dx_\nu}{d\lambda}\right) = \frac{d\delta x_\nu}{d\lambda}$$

在(20a)中代入 δw，并进行分部积分，我们就得到①

(20b)
$$\begin{cases} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \kappa_\sigma \delta x_\sigma d\lambda = 0, \\ \kappa_\sigma = \dfrac{d}{d\lambda}\left\{\dfrac{g_{\mu\nu}}{w}\dfrac{dx_\mu}{d\lambda}\right\} - \dfrac{1}{2w}\dfrac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\dfrac{dx_\mu}{d\lambda}\dfrac{dx_\nu}{d\lambda}. \end{cases}$$

由于 δx_σ 的值是可以任意选取的，因此得出

(20c)
$$\kappa_\sigma = 0.$$

这就是短程线的方程。如果沿着所考查的短程线不是 $ds=0$，那末我们就能够选取沿着短程线所量度的"弧长"s 作为参数 λ。于是 $w=1$，而(20c)就成为②

---

① 原文中第一个方程是：$\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} d\lambda\kappa_\sigma\delta x_\sigma = 0$。——译者

② 下式第一项中 $g_{\mu\sigma}$ 原文误为 $g_{\mu\nu}$，第二项中 $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{dx_\mu}{ds}$ 原文误为 $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{dx_\sigma}{ds}$，此处已改正。——译者

$$g_{\mu\sigma}\frac{d^2x_\mu}{ds^2}+\frac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x_\nu}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}-\frac{1}{2}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}=0,$$

或者只改变一下记号，它就成为

(20d) $$g_{\alpha\sigma}\frac{d^2x_\alpha}{ds^2}+\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ \sigma\end{bmatrix}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}=0,$$

依照克里斯托菲，此处我们记①

(21) $$\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ \sigma\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x_\nu}+\frac{\partial g_{\nu\sigma}}{\partial x_\mu}-\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}\right).$$

最后，如果我们把(20d)乘以 $g^{\sigma\tau}$(对于 τ 作外乘，对于 σ 作内乘)，这样我们终于得到短程线方程的最后形式

(22) $$\frac{d^2x_\tau}{ds^2}+\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}=0,$$

此处我们依照克里斯托菲，记②

(23) $$\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}=g^{\tau\alpha}\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ \alpha\end{bmatrix}$$

§10. 用微分构成张量

借助于短程线的方程，我们现在就不难推导出这样一些定律，根据这些定律，通过微分，就可从原来的张量构成新的张量。靠着

---

① $\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ \sigma\end{bmatrix}$通常叫做“第一种克里斯托菲三指标符号”，也可记作$[\mu\ \nu,\sigma]$，或者$\Gamma_{\sigma,\mu\nu}$。——译者

② $\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}$通常叫做“第二种克里斯托菲三指标符号”，也可记作$\{\mu\ \nu,\tau\}$，或者$\begin{Bmatrix}\tau\\ \mu\ \nu\end{Bmatrix}$，或者$\Gamma^\tau_{\mu\nu}$。(这里的$\Gamma^\tau_{\mu\nu}$同本文后面所用的$\Gamma^\tau_{\mu\nu}$差一个负号，见(45)。)——译者

这种办法，我们才能够列出广义协变的微分方程。我们通过重复应用下面这个简单的命题来达到这个目的。

如果我们的连续区中有一条曲线，它的点由离这条曲线上某一定点的弧距 s 来表征，此外，如果 φ 是一个不变的空间函数，那末 $d\varphi/ds$ 也是一个不变量。证明就在于，$d\varphi$ 和 ds 都是不变量。

既然 $\frac{d\varphi}{ds}=\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}\frac{dx_\mu}{ds}$，所以 $\psi=\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}\frac{dx_\mu}{ds}$ 也是一个不变量，而且是对于从这连续区中的一个点出发的一切曲线的一个不变量，这就是说，是对于任意选取的矢量 dx_μ 的一个不变量。由此直接得到

(24) $$A_\mu=\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}$$

是一个协变四元矢量（φ 的**陡度**）。

根据我们的命题，在曲线上所作的微商

$$\chi=\frac{d\psi}{ds}$$

同样也是一个不变量。把 ψ 的值代入，我们首先得到

$$\chi=\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_\mu\partial x_\nu}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}+\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}\frac{d^2x_\mu}{ds^2}.$$

从这里不能立刻推知有一个张量存在。但如果我们现在规定，那条我们在它上面进行微分的曲线是短程线，那末由(22)，通过 d^2x_ν/ds^2 的代换，我们就得到

$$\chi=\left\{\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_\mu\partial x_\nu}-\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{\partial\varphi}{\partial x_\tau}\right\}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}.$$

由于按 μ 和按 ν 的微分可以对调次序，又由(23)和(21)，$\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}$ 关于 μ 和 ν 是对称的，所以括号里的式子关于 μ 和 ν 是对称的，因为我们从连续区的一个点出发，在任何方向上都能引出一条短程线，所以 dx_μ/ds 是这样的一个四元矢量，它的分量之间的比

率是可以任意选取的，因此，从§7的结果，推得

$$(25)\qquad A_{\mu\nu}=\frac{\partial^2\varphi}{\partial x_\mu\partial x_\nu}-\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}\frac{\partial\varphi}{\partial x_\tau}$$

是一个二秩的协变张量。我们于是得到这样的结果：由一秩的协变张量

$$A_\mu=\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu},$$

我们能够用微分构成一个二秩的协变张量

$$(26)\qquad A_{\mu\nu}=\frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu}-\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{Bmatrix}A_\tau.$$

我们叫张量 $A_{\mu\nu}$ 是张量 A_μ 的“扩张”。首先我们不难证明，即使矢量 A_μ 不能表示为陡度，这种构成方法也会导致一个张量。要明白这一点，我们先要注意到，如果 ψ 和 φ 都是标量，那末

$$\psi\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}$$

则是一个协变四元矢量。如果 $\psi^{(1)},\varphi^{(1)},\cdots\psi^{(4)},\varphi^{(4)}$ 都是标量，那末由这样四个项所组成的和

$$S_\mu=\psi^{(1)}\frac{\partial\varphi^{(1)}}{\partial x_\mu}+\cdot+\cdot+\psi^{(4)}\frac{\partial\varphi^{(4)}}{\partial x_\mu}$$

也是一个协变四元矢量。但是显而易见，任何协变四元矢量都能表示为 S_μ 的形式。因为，如果 A_μ 是一个四元矢量，它的分量是 x_ν 的任意给定的函数，那末，为了使 S_μ 等于 A_μ，我们只要（对所选定的坐标系）置

$$\begin{aligned}\psi^{(1)}&=A_1, &\varphi^{(1)}&=x_1,\\ \psi^{(2)}&=A_2, &\varphi^{(2)}&=x_2,\\ \psi^{(3)}&=A_3, &\varphi^{(3)}&=x_3,\\ \psi^{(4)}&=A_4, &\varphi^{(4)}&=x_4.\end{aligned}$$

因此，为了证明，当(26)右边的 A_μ 被任何的协变四元矢量代

入时，$A_{\mu\nu}$仍是一个张量，我们只要证明这对于四元矢量 S_μ 也是正确的就行了。但是看一下(26)的右边，就能使我们知道，只要在

$$A_\mu = \psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\mu}$$

的情况下给以证明就足以完成上述任务。现在把(25)的右边乘以 ψ.

$$\psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \begin{Bmatrix} \mu\ \nu \\ \tau \end{Bmatrix} \psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\tau}$$

具有张量特征。同样，

$$\frac{\partial \psi}{\partial x_\mu} \frac{\partial \varphi}{\partial x_\nu}$$

也是一个张量(两个四元矢量的外积)。通过加法，得知

$$\frac{\partial}{\partial x_\nu}\left(\psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\mu}\right) - \begin{Bmatrix} \mu\ \nu \\ \tau \end{Bmatrix} \left(\psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\tau}\right)$$

具有张量特征。看一下(26)就会明白，这对于四元矢量

$$\psi \frac{\partial \varphi}{\partial x_\mu}$$

就完成了所要求的证明，因此，正如刚才所证明的，这也完成了对于任何四元矢量 A_μ 的证明。

借助于四元矢量的扩张，我们也不难定义一个任意秩的协变张量的"扩张"；这种构成方法是四元矢量扩张的一种推广。我们只限于建立二秩张量的扩张，因为这已可以使构成规则一目了然。

已经说过，任何二秩的协变张量都可表示为 $A_\mu B_\nu$ 型张量的和①。因此只要导出这种特殊张量的扩张的表示式就足够了。由(26)，表示式

$$\frac{\partial A_\mu}{\partial x_\sigma}-\begin{Bmatrix}\sigma\mu\\ \tau\end{Bmatrix}A_\tau,$$

$$\frac{\partial B_\nu}{\partial x_\sigma}-\begin{Bmatrix}\sigma\nu\\ \tau\end{Bmatrix}B_\tau$$

都具有张量特征。第一式，外乘以 B_ν，第二式外乘以 A_μ，我们分别得到一个三秩的张量；把它们相加，就得出这样的三秩张量：

$$A_{\mu\nu\sigma}=\frac{\partial A_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}-\begin{Bmatrix}\sigma\mu\\ \tau\end{Bmatrix}A_{\tau\nu}-\begin{Bmatrix}\sigma\nu\\ \tau\end{Bmatrix}A_{\mu\tau},\tag{27}$$

此处我们已置 $A_{\mu\nu}=A_\mu B_\nu$。因为(27)的右边对于 $A_{\mu\nu}$ 及其一阶导数是线性齐次的，所以这个构成规则不仅对于 $A_\mu B_\nu$ 类型的张量，而且也对于这种张量的和，即对于任意二秩的协变张量，都导出一个张量。我们把 $A_{\mu\nu\sigma}$ 叫做张量 $A_{\mu\nu}$ 的扩张。

显然，(26)和(24)只讲到扩张的特例(分别是一秩的和零秩的张量的扩张)。一般说来，张量的一切特殊构成规则都可以理解为(27)同张量乘法的结合。

---

① 通过一个具有任意分量 A_{11}、A_{12}、A_{13}、A_{14} 的矢量同一个具有分量 1，0，0，0 的矢量的外乘法，就产生一个张量，它的分量是

A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0.

把四个这种类型的张量相加，就得到一个具有任意规定的分量的张量 $A_{\mu\nu}$。——原注

§ 11. 几个具有特殊意义的特例

同基本张量有关的几个辅助定理 我们首先推出一些以后经常要用到的辅助方程。根据行列式的微分规则，

(28) $$dg = g^{\mu\nu} g\, dg_{\mu\nu} = -g_{\mu\nu} g\, dg^{\mu\nu}$$

最后一个形式是从倒数第二个形式得出的，只要我们考虑到 $g_{\mu\nu}g^{\mu'\nu}=\delta_{\mu}^{\mu'}$，由此 $g_{\mu\nu}g^{\mu\nu}=4$，所以

$$g_{\mu\nu}dg^{\mu\nu} + g^{\mu\nu}dg_{\mu\nu} = 0.$$

由(28)，得出

(29) $$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial\sqrt{-g}}{\partial x_\sigma} = \frac{1}{2}\frac{\partial \lg(-g)}{\partial x_\sigma} = -\frac{1}{2}g^{\mu\nu}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = \frac{1}{2}g_{\mu\nu}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}.$$

又由于对

$$g_{\mu\sigma}g^{\nu\sigma} = \delta_{\mu}^{\nu}$$

进行微分后，得到

(30) $$\begin{cases} g_{\mu\sigma}dg^{\nu\sigma} = -g^{\nu\sigma}dg_{\mu\sigma}, \\ \text{或}\quad g_{\mu\sigma}\dfrac{\partial g^{\nu\sigma}}{\partial x_\lambda} = -g^{\nu\sigma}\dfrac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x_\lambda}. \end{cases}$$

用 $g^{\sigma\tau}$和 $g_{\nu\lambda}$分别对这两个方程作混合乘法（并且改变指标的记号），我们就得到

(31) $$\begin{cases} dg^{\mu\nu} = -g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}dg_{\alpha\beta}, \\ \dfrac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = -g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}\dfrac{\partial g_{\alpha\beta}}{\partial x_\sigma}; \end{cases}$$

和

(32) $$\begin{cases} dg_{\mu\nu} = -g_{\mu\alpha}g_{\nu\beta}dg^{\alpha\beta}, \\ \dfrac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = -g_{\mu\alpha}g_{\nu\beta}\dfrac{\partial g^{\alpha\beta}}{\partial x_\sigma}. \end{cases}$$

关系式(31)可以改写成另一个我们也常用的形式。根据(21)，

(33)
$$\frac{\partial g^{\alpha\beta}}{\partial x_\sigma}=\begin{bmatrix}\alpha\sigma\\ \beta\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\beta\sigma\\ \alpha\end{bmatrix}.$$

把它代入(31)的第二个公式，又鉴于(23)，我们就得到

(34)
$$\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}=-\left[g^{\mu\tau}\begin{Bmatrix}\tau\sigma\\ \nu\end{Bmatrix}+g^{\nu\tau}\begin{Bmatrix}\tau\sigma\\ \mu\end{Bmatrix}\right].$$

把(34)的右边代入(29)，就给出

(29a)
$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial\sqrt{-g}}{\partial x_\sigma}=\begin{Bmatrix}\mu\sigma\\ \mu\end{Bmatrix}.$$

抗变四元矢量的"散度"　如果我们把(26)乘以抗变基本张量 $g^{\mu\nu}$(内乘)，那末此式右边在其第一项经过改写后就取这样的形式

$$\frac{\partial}{\partial x_\nu}(g^{\mu\nu}A_\mu)-A_\mu\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\nu}-\frac{1}{2}g^{\tau\alpha}\left(\frac{\partial g_{\mu\alpha}}{\partial x_\nu}+\frac{\partial g_{\nu\alpha}}{\partial x_\mu}-\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\alpha}\right)g^{\mu\nu}A_\tau.$$

根据(31)和(29)，上式的最后一项可写成

$$\frac{1}{2}\frac{\partial g^{\tau\nu}}{\partial x_\nu}A_\tau+\frac{1}{2}\frac{\partial g^{\tau\mu}}{\partial x_\mu}A_\tau+\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial\sqrt{-g}}{\partial x_\alpha}g^{\tau\alpha}A_\tau.$$

因为累加指标的符号是无关紧要的，所以此式中的开头两项同上式中的第二项抵消了；此式中最后一项可以同上式的第一项结合起来。如果我们仍然置

$$g^{\mu\nu}A_\mu=A^\nu,$$

此处 A^ν 也像 A_μ 一样是一个可以任意选取的矢量，那末我们最后就得到

(35)
$$\Phi=\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial}{\partial x_\nu}(\sqrt{-g}A^\nu).$$

这个标量就是抗变四元矢量 A^ν 的**散度**。

(协变)四元矢量的"旋度"　(26)中的第二项对于指标 μ 和 ν 是对称的。因此 $A_{\mu\nu}-A_{\nu\mu}$ 是一个构造特别简单的(反对称)张量。我们得到

(36) $$B_{\mu\nu}=\frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu}-\frac{\partial A_\nu}{\partial x_\mu}.$$

六元矢量的反对称扩张 如果我们把(27)应用到一个二秩的反对称张量 $A_{\mu\nu}$上去，并构成通过指标 μ,ν,σ 的循环调换而产生的另外两个方程，把这三个方程加起来，那末我们就得到三秩的张量

(37) $$B_{\mu\nu\sigma}=A_{\mu\nu\sigma}+A_{\nu\sigma\mu}+A_{\sigma\mu\nu}=\frac{\partial A_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}+\frac{\partial A_{\nu\sigma}}{\partial x_\mu}+\frac{\partial A_{\sigma\mu}}{\partial x_\nu},$$

不难证明，它是反对称的。

六元矢量的散度 我们把(27)乘以 $g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}$(混合乘积)，那末我们也同样得到一个张量。我们可以把(27)右边的第一项写成如下形式

$$\frac{\partial}{\partial x_\sigma}(g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}A_{\mu\nu})-g^{\mu\alpha}\frac{\partial g^{\nu\beta}}{\partial x_\sigma}A_{\mu\nu}-g^{\nu\beta}\frac{\partial g^{\mu\alpha}}{\partial x_\sigma}A_{\mu\nu}.$$

如果我们以 $A_\sigma^{\alpha\beta}$ 代替 $g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}A_{\mu\nu\sigma}$，以 $A^{\alpha\beta}$代替 $g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}A_{\mu\nu}$，并且我们在经过改写后的第一项中，以(34)代替

$$\frac{\partial g^{\nu\beta}}{\partial x_\sigma}\text{和}\frac{\partial g^{\mu\alpha}}{\partial x^\sigma}$$

那末，从(27)的右边得出一个含有七个项的表示式，其中四个项互相抵消了。剩下的是

(38) $$A_\sigma^{\alpha\beta}-\frac{\partial A^{\alpha\beta}}{\partial x_\sigma}+\begin{Bmatrix}\sigma\kappa\\ \alpha\end{Bmatrix}A^{\kappa\beta}+\begin{Bmatrix}\sigma\kappa\\ \beta\end{Bmatrix}A^{\alpha\kappa}.$$

这是一个关于二秩抗变张量的扩张式，关于更高秩和更低秩的抗变张量的扩张式也可以相应地作出。

我们注意到，用类似的办法也可构成混合张量 A_μ^α 的扩张

(39) $$A_{\mu\sigma}^\alpha=\frac{\partial A_\mu^\alpha}{\partial x_\sigma}-\begin{Bmatrix}\sigma\mu\\ \tau\end{Bmatrix}A_\tau^\alpha+\begin{Bmatrix}\sigma\tau\\ \beta\end{Bmatrix}A_\mu^\tau.$$

把(38)作关于指标 β 和 σ 的降秩(内乘以 δ_β^σ)，我们得到抗变四元

矢量

$$A^{\alpha}=\frac{\partial A^{\alpha\beta}}{\partial x_{\beta}}+\left\{\begin{matrix}\beta\kappa\\ \beta\end{matrix}\right\}A^{\alpha\kappa}+\left\{\begin{matrix}\beta\kappa\\ \alpha\end{matrix}\right\}A^{\kappa\beta}.$$

如果 $A^{\alpha\beta}$ 像我们所要假定的那样是一个反对称张量，那末由于 $\left\{\begin{matrix}\beta\kappa\\ \alpha\end{matrix}\right\}$ 对指标 β 和 κ 的对称性，这方程右边的第二项就等于零；而第二项可利用(29a)进行改写。由此我们得到

$$A^{\alpha}=\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial\left(\sqrt{-g}A^{\alpha\beta}\right)}{\partial x_{\beta}}. \tag{40}$$

这是抗变六元矢量的散度的表示式。

二秩混合张量的散度 如果我们作出(39)关于指标 α 和 σ 的降秩，并且考虑到(29a)，那末我们就得到

$$\sqrt{-g}A_{\mu}=\frac{\partial\left(\sqrt{-g}A_{\mu}^{\sigma}\right)}{\partial x_{\sigma}}-\left\{\begin{matrix}\sigma\mu\\ \tau\end{matrix}\right\}\sqrt{-g}A_{\tau}^{\sigma}. \tag{41}$$

如果在最后一项中我们引进抗变张量 $A^{\rho\sigma}=g^{\rho\tau}A_{\tau}^{\sigma}$，那末它就取形式

$$-\left\{\begin{matrix}\sigma\mu\\ \rho\end{matrix}\right\}\sqrt{-g}A^{\rho\sigma}.$$

如果张量 $A^{\rho\sigma}$ 又是对称的，那末这就简化成

$$-\frac{1}{2}\sqrt{-g}\frac{\partial g_{\rho\sigma}}{\partial x_{\mu}}A^{\rho\sigma}.$$

如果我们引进一个也是对称的协变张量 $A_{\rho\sigma}=g_{\rho\alpha}g_{\sigma\beta}A^{\alpha\beta}$ 来代替 $A^{\rho\sigma}$，那末，由(31)，这最后一项就会取形式

$$\frac{1}{2}\sqrt{-g}\frac{\partial g^{\rho\sigma}}{\partial x_{\mu}}A_{\rho\sigma}.$$

于是，在所讲的对称的情况下，(41)也可用下面两种形式来代替：

(41a)　$$\sqrt{-g}A_\mu = \frac{\partial\left(\sqrt{-g}A_\mu^\sigma\right)}{\partial x_\sigma} - \frac{1}{2}\frac{\partial g_{\rho\sigma}}{\partial x_\mu}\sqrt{-g}A^{\rho\sigma},$$

(41b)　$$\sqrt{-g}A_\mu = \frac{\partial\left(\sqrt{-g}A_\mu^\sigma\right)}{\partial x_\sigma} + \frac{1}{2}\frac{\partial g^{\rho\sigma}}{\partial x_\mu}\sqrt{-g}A_{\rho\sigma},$$

它们是我们以后要用到的。

§12. 黎曼-克里斯托菲张量

我们现在来求这样一种张量，它们能够单独由基本张量 $g_{\mu\nu}$ 经过微分而得到。初看一下，答案似乎就在手边。我们在(27)中用基本张量 $g_{\mu\nu}$ 来代替任何已定的张量 $A_{\mu\nu}$，由此得到一个新张量，即基本张量的扩张。但人们很容易相信，这个扩张是恒等于零的。然而我们还是要从下面的途径来达到我们的目标。我们在(27)中置

$$A_{\mu\nu} = \frac{\partial A_\mu}{\partial x_\nu} - \left\{\begin{matrix}\mu\ \nu\\ \rho\end{matrix}\right\}A_\rho,$$

此即四元矢量 A_μ 的扩张。于是我们就得到(指标的名称稍有变动)三秩的张量

$$A_{\mu\sigma\tau} = \frac{\partial^2 A_\mu}{\partial x_\sigma \partial x_\tau} - \left\{\begin{matrix}\mu\ \sigma\\ \rho\end{matrix}\right\}\frac{\partial A_\rho}{\partial x_\tau} - \left\{\begin{matrix}\mu\ \tau\\ \rho\end{matrix}\right\}\frac{\partial A_\rho}{\partial x_\sigma} - \left\{\begin{matrix}\sigma\ \tau\\ \rho\end{matrix}\right\}\frac{\partial A_\mu}{\partial x_\rho}$$
$$+\left[-\frac{\partial}{\partial x_\tau}\left\{\begin{matrix}\mu\ \sigma\\ \rho\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}\mu\ \tau\\ \alpha\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}\alpha\ \sigma\\ \rho\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}\sigma\ \tau\\ \alpha\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}\alpha\mu\\ \rho\end{matrix}\right\}\right]A_\rho\ .$$

这个式子提示我们去构成张量 $A_{\mu\sigma\tau} - A_{\mu\tau\sigma}$。因为如果我们这样做了，$A_{\mu\sigma\tau}$ 式中的第一项、第四项以及相当于方括号中的最后一项的那个部分，都分别同 $A_{\mu\tau\sigma}$ 式中的对应项互相抵消了；因为所有这些项对于 σ 和 τ 都是对称的。这对于第二项同第三项的和也是同样成立的。所以我们得到

(42)　$$A_{\mu\sigma\tau} - A_{\mu\tau\sigma} = B^\rho_{\mu\sigma\tau}A_\rho,$$

$$
(43)\quad \begin{cases} B^{\rho}_{\mu\sigma\tau} = -\dfrac{\partial}{\partial x_\tau}\begin{Bmatrix}\mu\ \sigma\\ \rho\end{Bmatrix} + \dfrac{\partial}{\partial x_\sigma}\begin{Bmatrix}\mu\ \tau\\ \rho\end{Bmatrix} \\ \qquad\quad -\begin{Bmatrix}\mu\ \sigma\\ \alpha\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\alpha\ \tau\\ \rho\end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix}\mu\ \tau\\ \alpha\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\alpha\ \sigma\\ \rho\end{Bmatrix}. \end{cases}
$$

这个结果的主要特点是：在(42)的右边只出现 A_ρ，而不出现它们的导数。由 $A_{\mu\sigma\tau}-A_{\mu\tau\sigma}$ 的张量特征，结合 A_ρ 是可以任意选定的四元矢量这一事实，根据§7的结果，就得知 $B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}$ 是一个张量(黎曼-克里斯托菲张量)。

这种张量的数学重要性如下：如果连续区具有这样的性质，即存在一个坐标系，参照于它，各个 $g_{\mu\nu}$ 都是常数，那末所有的 $B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}$ 都等于零。如果我们选取任何一个新的坐标系来代替原来的坐标系，那末参照于新坐标系的 $g_{\mu\nu}$ 将不是常数了。但 $B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}$ 的张量性质必然使得这些分量在这任意选取的参照系中全部等于零。因此，要通过参照系的适当选取而使 $g_{\mu\nu}$ 能够成为常数，黎曼张量等于零则是其必要条件。①在我们的问题中，这相当于这样的情况：通过参照系的适当选择，狭义相对论在非无限小区域里是有效的。

对(43)作关于指标 τ 和 ρ 降秩，我们得到二秩的协变张量

$$
(44)\quad \begin{cases} B_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} + S_{\mu\nu}, \\ R_{\mu\nu} = -\dfrac{\partial}{\partial x_\alpha}\begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \alpha\end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix}\mu\ \alpha\\ \beta\end{Bmatrix}\begin{Bmatrix}\nu\ \beta\\ \alpha\end{Bmatrix}, \\ S_{\mu\nu} = \dfrac{\partial^2 \lg\sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \begin{Bmatrix}\mu\ \nu\\ \alpha\end{Bmatrix}\dfrac{\partial \lg\sqrt{-g}}{\partial x_\alpha}. \end{cases}
$$

关于坐标选取的注释 在§8里联系到方程(18a)曾经指出过，如果所选取的坐标能使 $\sqrt{-g}=1$ 那是有好处的。看一下前面最后两节中所得出的方程，就可知道，通过这样选取，张量的构成

① 数学家已证明，这也是充分条件。——原注

规则能大大地加以简化。这特别适用于刚才求出的张量 $B_{\mu\nu}$，这种张量在所要说明的理论中起着基本的作用。由于坐标的这种特殊选取必然使得 $S_{\mu\nu}$ 等于零，于是张量 $B_{\mu\nu}$ 就简化为 $R_{\mu\nu}$。

所以以后我要对一切关系都给以由于坐标的这种特殊选取而必然产生的简化形式。如果在一种特殊情况中似乎需要改回到一般的协变方程，那也是一件轻而易举的事。

C. 引力场理论

§13. 引力场中质点的运动方程。关于引力的场分量的表示式

依照狭义相对论，一个不受外力作用的自由运动的物体是作直线匀速运动的，依照广义相对论，这情况也适用于四维空间中的这样的部分，在这一部分空间中，坐标系 K_0 可以而且已经选取来使 $g_{\mu\nu}$ 具有(4)中所规定的特殊常数值。

如果我们从一个任意选定的坐标系 K_1 来考察这种运动，那末根据§2的考查，从 K_1 来判断，这个物体是在引力场中运动的。参照于 K_1 的运动定律可以毫无困难地从下面的考查得出。参照于 K_0，这个运动定律是一条四维的直线，因此是一条短程线。现在既然短程线的定义是同参照系无关的，它的方程也就是参照于 K_1 的质点的运动方程。如果我们置

$$\Gamma^{\tau}_{\mu\nu} = -\left\{\begin{matrix}\mu\ \nu\\ \tau\end{matrix}\right\}, \tag{45}$$

参照于 K_1 的这个质点运动方程就成为

$$\frac{d^2 x_\tau}{ds^2} = \Gamma^{\tau}_{\mu\nu}\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds}. \tag{46}$$

我们现在作一显而易见的假定：即使不存在那种可使狭义相对论适用于非无限小空间的参照系 K_0，这个一般的协变方程组也还规定着质点在引力场中的运动。由于(46)只含有 $g_{\mu\nu}$的**第一阶**导数，在它们之间，在有 K_0 存在的特殊情况下，也不存在什么关系，①所以我们就更加有理由作这个假定了。

如果 $\Gamma^{\tau}_{\mu\nu}$等于零，那末这质点就作直线匀速运动。因此这些量就规定了运动对均匀性的偏离。它们是引力场的分量。

§14. 不存在物质时的引力的场方程

我们今后在这样的意义上把“引力场”同“物质”加以区别：除了引力场之外的任何东西都叫做“物质”，因此，它不仅包括通常意义上的“物质”，而且也包括电磁场。

我们下一步的任务是要寻求不存在物质时的引力的场方程。这里我们再一次用到上一节中在列出质点的运动方程时所使用的同一种方法。有一种特殊情况，是所要探求的场方程无论如何都必须满足的，这就是原始的相对论②的情况，在这种情况下，$g_{\mu\nu}$有确定的常数值。假设在某一非无限小的区域中对于一定的参照系 K_0 是这种情况。对于这个坐标系，黎曼张量的一切分量 $B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}$[方程(43)]都等于零。因此，就所考查的区域来说，它们对于任何别的坐标系也都等于零。

因此，如果所有的 $B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}$都等于零，那末所要求的无物质的引力场的方程在任何情况下都必须得到满足。但这个条件无论如何也太过分了。因为很明显的，比如由质点在它的周围所产生的引力场，肯定不能通过坐标系的选择而被“变换掉”，也就是说，它不能

---

① 由§12，只有在第二阶（和第一阶）导数之间，$B^{\rho}_{\mu\sigma\tau}=0$ 这些关系才存在。——原注

② 英译本把“原始的相对论”译为“狭义相对论”，意义较明确。——译者

变换成常数 $g_{\mu\nu}$ 的情况。

由此容易想到，对于无物质的引力场，应当要求从张量 $B^{\rho}_{\mu\nu\tau}$ 导出的对称张量 $B_{\mu\nu}$ 等于零。这样，我们得到了关于 10 个 $g_{\mu\nu}$ 量的 10 个方程，它们在那种 $B^{\rho}_{\mu\nu\tau}$ 全都等于零的特殊情况下是满足的。通过我们对坐标系的选取，又考虑到(44)，无物质场的方程是

$$\text{(47)} \qquad \begin{cases} \dfrac{\partial \Gamma^{\alpha}_{\mu\nu}}{\partial x_{\alpha}} + \Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha} = 0, \\ \sqrt{-g} = 1. \end{cases}$$

必须指出，这些方程的选择，只有极少的任意性。因为除了 $B_{\mu\nu}$ 以外，就没有这样的二秩张量，它是由 $g_{\mu\nu}$ 及其导数构成而又不含有高于二阶的导数，并且是这些导数的线性式。①

从广义相对论的要求出发，通过纯数学的方法得到的这些方程，它们同运动方程(46)结合起来，在第一级近似上给出了牛顿的引力定律，在第二级近似上给出了一个关于勒未里埃(Leverrier)所发现的(在作了关于摄动的校正以后还保留下来的)水星近日点的运动的解释，在我看来，这些事实必须被看作是这理论的物理正确性的令人信服的证明。

§15. 关于引力场的哈密顿函数。动量能量定律

要证明场方程适应于动量能量定律，最方便的是把它们写成如下的哈密顿形式：

---

① 确切地说来，这只对于张量

$$B_{\mu\nu} + \lambda g_{\mu\nu}(g^{\alpha\beta}B_{\alpha\beta})$$

才能这样断言(此处 λ 是一常数)。但如果我们置这个量 $=0$，我们就又回到方程 $B_{\mu\nu}=0$ 了。——原注

$$(47a)\quad \begin{cases} \delta\left\{\int H d\tau\right\} = 0, \\ H = g^{\mu\nu}\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}, \\ \sqrt{-g} = 1. \end{cases}$$

这里，这些变分在所考查的有限的四维积分空间的边界上都等于零。

首先必须证明，形式(47a)同方程(47)是等效的。为了这个目的，我们把 H 看作是 $g^{\mu\nu}$ 和

$$g^{\mu\nu}_{\sigma} = \left(\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_{\sigma}}\right)$$

的函数。因此，首先得出

$$\begin{aligned} \delta H &= \Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}\delta g^{\mu\nu} + 2g^{\mu\nu}\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha} \\ &= -\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}\delta g^{\mu\nu} + 2\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\delta(g^{\mu\nu}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}). \end{aligned}$$

但现在

$$\delta(g^{\mu\nu}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}) = -\frac{1}{2}\delta\left[g^{\mu\nu}g^{\beta\lambda}\left(\frac{\partial g_{\mu\lambda}}{\partial x_{\alpha}} + \frac{\partial g_{\alpha\lambda}}{\partial x_{\nu}} - \frac{\partial g_{\alpha\nu}}{\partial x_{\lambda}}\right)\right].$$

由圆括号中最后两项所产生的项是带有不同的正负号的，并且可以通过互相对调指标 μ 和 β(因为累加指标的记号是无关紧要的)而得到。它们在 δH 的式中互相抵消了，因为它们都是同一个对于指标 μ 和 β 是对称的量 $\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}$ 相乘的缘故。这样，圆括号里只剩下第一项是要考虑的，因此，我们考虑到(31)，就得到①

$$\delta H = -\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}\delta g^{\mu\nu} + \Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\delta g^{\mu\beta}_{\alpha}.$$

所以

$$(48)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}} = -\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha}, \\ \dfrac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}_{\sigma}} = \Gamma^{\sigma}_{\mu\nu}. \end{cases}$$

---

① 原文中下面方程右边第二项前面误为减号。——译者

在(47a)中进行变分，我们首先得出下列方程组

(47b)
$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(\frac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}\right)-\frac{\partial H}{\partial g^{\mu\nu}}=0,$$

由于(48)，这方程组是同(47)一致的，而这是要加以证明的。——如果我们把(47b)乘以 $g_\sigma^{\mu\nu}$，又因为

$$\frac{\partial g_\sigma^{\mu\nu}}{\partial x_\alpha}=\frac{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma},$$

并且由此推出

$$g_\sigma^{\mu\nu}\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(\frac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}\right)=\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(g_\sigma^{\mu\nu}\frac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}\right)-\frac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}\frac{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma},$$

那末我们就得到下列方程

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(g_\sigma^{\mu\nu}\frac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}\right)-\frac{\partial H}{\partial x_\sigma}=0,$$

或者①

(49)
$$\begin{cases}\dfrac{\partial t_\sigma^\alpha}{\partial x_\alpha}=0,\\[2ex] -2\kappa t_\sigma^\alpha=g_\sigma^{\mu\nu}\dfrac{\partial H}{\partial g_\alpha^{\mu\nu}}-\delta_\sigma^\alpha H,\end{cases}$$

此处，由于(48)，(47)的第二个方程以及(34)，

(50)
$$\kappa t_\sigma^\alpha=\frac{1}{2}\delta_\sigma^\alpha g^{\mu\nu}\Gamma_{\mu\beta}^{\lambda}\Gamma_{\nu\lambda}^{\beta}-g^{\mu\nu}\Gamma_{\mu\beta}^{\alpha}\Gamma_{\nu\sigma}^{\beta}.$$

要注意，t_σ^α 不是一个张量；另一方面，对于一切使 $\sqrt{-g}=1$ 的坐标系，(49)都是成立的。这方程表示关于引力场的动量和能量守恒定律。实际上，这个方程关于三维体积 V 的积分给出了四个方程

(49a)
$$\frac{d}{dx_4}\int t_\sigma^4 dV=\int(t_\sigma^1 a_1+t_\sigma^2 a_2+t_\sigma^3 a_3)dS,$$

此处 a_1，a_2，a_3 表示在边界曲面的元素 dS 上(在欧几里得几何的

---

① 所以要引进因子 -2κ 的理由以后会明白。——原注

意义上)向内所引的法线的方向余弦。在这里我们认出了通常形式的守恒定律的表示式。t_σ^α 这些量我们称之为引力场的“能量分量”。

我们现在还要给方程(47)以第三种形式,这种形式对于生动地理解我们的课题是特别有用的。把场方程(47)乘以 $g^{\nu\sigma}$得出这些以“混合”形式出现的方程。我们注意到

$$g^{\nu\sigma}\frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\alpha}}{\partial x_\alpha}=\frac{\partial}{\partial x_\alpha}(g^{\nu\sigma}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha})-\frac{\partial g^{\nu\sigma}}{\partial x_\alpha}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha},$$

由于(34),这个量等于

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha}(g^{\nu\sigma}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha})\quad g^{\nu\beta}\Gamma_{\alpha\beta}^{\sigma}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha}-g^{\sigma\beta}\Gamma_{\beta\alpha}^{\nu}\Gamma_{\mu\nu}^{\alpha},$$

或者(按照改变了的累加指标的符号)等于

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha}(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^{\alpha})-g^{mn}\Gamma_{m\beta}^{\sigma}\Gamma_{n\mu}^{\beta}-g^{\nu\sigma}\Gamma_{\mu\beta}^{\alpha}\Gamma_{\nu\alpha}^{\beta}.$$

这个式的第三项同那个由场方程(47)的第二项所产生的项相消;根据关系(50),这个式的第二项可代之以

$$\kappa\left(t_\mu^\sigma-\frac{1}{2}\delta_\mu^\sigma t\right),$$

此处 $t=t_\alpha^\alpha$。由此,代替方程(47),我们得到

$$\left\{\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial x_\alpha}(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^{\alpha})=-\kappa\left(t_\mu^\sigma-\frac{1}{2}\delta_\mu^\sigma t\right),\\&\sqrt{-g}=1.\end{aligned}\right.\tag{51}$$

§16. 引力场方程的一般形式

在上节中所建立的无物质的空间的场方程可同牛顿理论的场方程

$$\Delta\varphi=0$$

相比较。我们现在要寻求一个对应于泊松方程

$$\Delta\varphi=4\pi\kappa\rho$$

的方程,此处 ρ 表示物质的密度。

狭义相对论已得到了这样的结论：惯性质量不是别的，而是能量，它在一个二秩的对称张量（即能量张量）中找到了它的完备的数学表示。由此，在广义相对论中，我们也必须引进一个物质的能量张量 T_σ^α，它像引力场的能量分量 t_σ^α（方程(49)和(50)）那样具有混合的特征，但是属于一个对称的协变张量。①

方程组(51)表明，这个能量张量（对应于泊松方程中的密度 ρ）是怎样被引进引力场方程中的。因为，如果我们考查一个完整的体系（比如太阳系），那末，这个体系的总质量，从而还有它的总引力作用，将同这体系的总能量，因而也同有质(*ponderable*)能量和引力能量有关。这情况可以这样来表示：在(51)中引进物质与引力场的能量分量的和 $t_\mu^\sigma+T_\mu^\sigma$，来代替单独的引力场的能量分量 t_μ^σ。由此，我们得到下列张量方程来代替(51)：

$$(52)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial x_\alpha}(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^\alpha) = -\kappa\left[(t_\mu^\sigma + T_\mu^\sigma) - \dfrac{1}{2}\delta_\mu^\sigma(t+T)\right], \\ \sqrt{-g}=1, \end{cases}$$

此处我们置 $T=T_\mu^\mu$（劳厄标量）。这就是所探求的关于引力的一般场方程的混合形式。由此倒推回去，我们得到代替(47)的下列方程：

$$(53)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^\alpha}{\partial x_\alpha} + \Gamma_{\mu\beta}^\alpha\Gamma_{\nu\alpha}^\beta = -\kappa\left((T_{\mu\nu} - \dfrac{1}{2}g_{\mu\nu}T\right), \\ \sqrt{-g}=1, \end{cases}$$

必须承认，这样来引进物质的能量张量，并不能单靠相对性公设来证明是正确的；因此，在前面我们是从这样的要求来导出它的，即引力场的能量应当像任何别种能量一样，以同样方式起着引力的作用。但是选择上述这些方程的最有力的根据还在于它们有这样的结果：对于总能量的分量，（动量和能量的）守恒方程是成立

① $g_{\sigma\tau}T_\sigma^\alpha=T_{\sigma\tau}$，和 $g^{\sigma\beta}T_\sigma^\alpha=T^{\alpha\beta}$ 都应是对称张量。——原注

的，这些方程严格对应于方程(49)和(49a)。这将要在下一节中加以证明。

§17. 一般情况下的守恒定律

不难把方程(52)改变形式，使其右边的第二项等于零。对(52)进行关于指标 μ 和 σ 的降秩，并且把这样得到的方程乘以 $\frac{1}{2}\delta_\mu^\sigma$，然后在方程(52)中减去它。于是得出

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^\alpha-\frac{1}{2}\delta_\mu^\sigma g^{\lambda\beta}\Gamma_{\lambda\beta}^\alpha\right)=-\kappa(t_\mu^\sigma+T_\mu^\sigma). \tag{52a}$$

对这个方程施以运算 $\partial/\partial x_\sigma$。我们得到

$$\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha\partial x_\sigma}(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^\alpha)$$
$$=-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha\partial x_\sigma}\left[g^{\sigma\beta}g^{\alpha\lambda}\left(\frac{\partial g_{\mu\lambda}}{\partial x_\beta}+\frac{\partial g_{\beta\lambda}}{\partial x_\mu}-\frac{\partial g_{\mu\beta}}{\partial x_\lambda}\right)\right].$$

圆括号中的第一项和第三项所贡献的部分互相抵消了，我们只要在第三项的贡献中，把累加指标 α 和 σ 作为一方，β 和 λ 作为另一方来对调，就可看出。第二项可按照(31)进行改写，由此我们得到

$$\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha\partial x_\sigma}(g^{\sigma\beta}\Gamma_{\mu\beta}^\alpha)=\frac{1}{2}\frac{\partial^3 g^{\alpha\beta}}{\partial x_\alpha\partial x_\beta\partial x_\mu}. \tag{54}$$

(52a)的左边第二项首先给出

$$-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha\partial x_\mu}(g^{\lambda\beta}\Gamma_{\lambda\beta}^\alpha),$$

或者

$$\frac{1}{4}\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha\partial x_\mu}\left[g^{\lambda\beta}g^{\alpha\delta}\left(\frac{\partial g_{\delta\lambda}}{\partial x_\beta}+\frac{\partial g_{\delta\beta}}{\partial x_\lambda}-\frac{\partial g_{\lambda\beta}}{\partial x_\delta}\right)\right].$$

对于我们所选定的坐标，圆括号里最后一项所产生的由于(29)而消失了。另外两项可以结合在一起，并且由(31)，它们共同给出

$$-\frac{1}{2}\frac{\partial^3 g^{\alpha\beta}}{\partial x_\alpha\partial x_\beta\partial x_\mu},$$

因此，考虑到(54)，我们得到恒等式①

(55) $$\frac{\partial^2}{\partial x_\alpha \partial x_\sigma}\left(g^{\sigma\beta}\Gamma^\alpha_{\mu\beta} - \frac{1}{2}\delta^\sigma_\mu g^{\lambda\beta}\Gamma^\alpha_{\lambda\beta}\right) = 0.$$

从(55)和(52a)，得出

(56) $$\frac{\partial(t^\sigma_\mu + T^\sigma_\mu)}{\partial x_\sigma} = 0.$$

因此，从我们的引力的场方程得知，动量和能量的守恒定律是得到满足的。人们从导致方程(49a)的考虑中最容易看出这一点；所不同的是，这里我们必须引进物质的和引力场的总能量分量，以代替引力场的能量分量 t^σ_μ。

§ 18. 作为场方程结果的物质的动量能量定律

我们把(53)乘以 $\partial g^{\mu\nu}/\partial x_\sigma$，那末，由 § 15 中所采用的方法，并鉴于

$$g_{\mu\nu}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}$$

等于零，我们就得到方程

$$\frac{\partial t^\alpha_\sigma}{\partial x_\alpha} + \frac{1}{2}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}T_{\mu\nu} = 0,$$

或者鉴于(56)，得到

(57) $$\frac{\partial T^\alpha_\sigma}{\partial x_\alpha} + \frac{1}{2}\frac{\partial g^{\mu\nu}}{\partial x_\sigma}T_{\mu\nu} = 0.$$

同(41b)相比较，表明对于我们所选定的坐标系，这个方程正好断定了物质的能量分量的张量的散度等于零。在物理上，左边第二项的出现表明，在严格意义上动量和能量守恒定律单单对于物质是不成立的，而只有当 $g^{\mu\nu}$ 都是常数时，即引力场强度等于零时，它们才成立。这个第二项表示每单位体积和单位时间从引力场

① 德文本和英译本中 $g^{\sigma\beta}\Gamma^\alpha_{\mu\beta}$ 都误为 $g^{\rho\beta}\Gamma_{\mu\beta}$. ——译者

输送到物质上去的动量和能量。如果我们在(41)的意义下把(57)改写成①

$$\frac{\partial T_{\sigma}^{\alpha}}{\partial x_{\alpha}}=-\Gamma_{\alpha\sigma}^{\beta}T_{\beta}^{\alpha}, \tag{57a}$$

那末这就更加明显了。这方程的右边表示引力场对物质的能量方面的影响。

因此这些引力场方程同时包含着物质现象过程所必须满足的四个条件。它们完备地给出了物质现象过程的方程，只要物质现象过程是能够用四个彼此独立的微分方程来表征。②

D. “物质”现象过程

在B部分所发展的数学工具，使我们能够立刻对于像狭义相对论所表述的那些关于物质的物理定律(流体动力学，麦克斯韦的电动力学)进行推广，使它们适合于广义相对论。在那里，广义相对性原理固然没有对可能性加以更多的限制，但它却使我们不必引进任何新假设，就能准确地认识到引力场对一切过程的影响。

这种事态带来的结果是，没有必要对(狭义上的)物质的物理本性引进确定的假设。特别是电磁场理论同引力场理论一起是否能为物质理论提供一个充分的基础，这仍然可以是个悬而未决的问题。广义相对性公设在原则上不能就这方面告诉我们任何东西。这必须等到建成了这理论才可看出，电磁学同引力学说合起来究竟能否完成前者单独所不能完成的任务。

---

① (57a)的右式德文本误写为$-\Gamma_{\sigma\beta}^{\alpha}T_{\beta}^{\alpha}$。——译者

② 关于这问题，参看D.希耳伯特，《哥丁根科学会通报》，数学物理学部分(*D. Hilbert*，Nachr. d. K. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen，Math. -phys. Klasse)1915年，第3页。——原注

§19. 关于无摩擦绝热流体的欧勒方程

设 p 和 ρ 是两个标量，其中前者我们叫流体的“压强”，后者叫流体的“密度”；并设它们之间有一个方程存在。设抗变对称张量

$$T^{\alpha\beta} = -g^{\alpha\beta}p + \rho\frac{dx_\alpha}{ds}\frac{dx_\beta}{ds} \tag{58}$$

是流体的抗变能量张量。附属于它有协变张量

$$T_{\mu\nu} = -g_{\mu\nu}p + g_{\mu\alpha}\frac{dx_\alpha}{ds}g_{\nu\beta}\frac{dx_\beta}{ds}\rho, \tag{58a}$$

以及混合张量①

$$T_\sigma^\alpha = -\delta_\sigma^\alpha p + g_{\sigma\beta}\frac{dx_\beta}{ds}\frac{dx_\alpha}{ds}\rho. \tag{58b}$$

如果我们把(58b)的右边代入(57a)，那末我们就得到广义相对论的欧勒流体动力学方程。它们在原则上完全解决了运动问题，因为(57a)的四个方程加上 p 和 ρ 之间的已知方程，以及下列方程

$$g_{\alpha\beta}\frac{dx_\alpha}{ds}\frac{dx_\beta}{ds} - 1,$$

在 $g_{\alpha\beta}$ 是已知时，就足以确定 6 个未知数

$$p, \rho, \frac{dx_1}{ds}, \frac{dx_2}{ds}, \frac{dx_3}{ds}, \frac{dx_4}{ds}.$$

如果 $g_{\mu\nu}$ 也是未知的，那末还得引用方程(53)。这是确定 10 个函数 $g_{\mu\nu}$ 的 11 个方程，所以这些函数好像是被过分确定了。然而应当注意到，方程(57a)已经包含在方程(53)里面了，所以后者只代表 7 个独立的方程。这种不确定性的充分理由就在于对坐标选取有着广泛的自由，而这就必然使得这问题在数学上保持了这样的不确

① 如果一位观察者对于无限小区域使用一个狭义相对论意义上的参照系，并且同它一起运动，那末在他看来，能量密度 T_4^4 等于 $\rho - p$。这就给出了 ρ 的定义。因此，对不可压缩的流体，ρ 不是常数。——原注

定程度，以致使空间函数中有三个是可以任意选取的。①

§20. 麦克斯韦的真空电磁场方程

设 φ_ν 是一个协变四元矢量——电磁势四元矢量——的各个分量。根据(36)，我们可由它们按照下列方程组

$$F_{\rho\sigma}=\frac{\partial\varphi_\rho}{\partial x_\sigma}-\frac{\partial\varphi_\sigma}{\partial x_\rho} \tag{59}$$

构成电磁场协变六元矢量的分量 $F_{\rho\sigma}$。由(59)得知，方程组

$$\frac{\partial F_{\rho\sigma}}{\partial x_\tau}+\frac{\partial F_{\sigma\tau}}{\partial x_\rho}+\frac{\partial F_{\tau\rho}}{\partial x_\sigma}=0. \tag{60}$$

是满足的，根据(37)，知其左边是一个三秩的反对称张量。因而方程组(60)实质上包含 4 个方程，其形式如下：

$$\left\{\begin{aligned}
&\frac{\partial F_{23}}{\partial x_4}+\frac{\partial F_{34}}{\partial x_2}+\frac{\partial F_{42}}{\partial x_3}=0,\\
&\frac{\partial F_{34}}{\partial x_1}+\frac{\partial F_{41}}{\partial x_3}+\frac{\partial F_{13}}{\partial x_4}=0,\\
&\frac{\partial F_{41}}{\partial x_2}+\frac{\partial F_{12}}{\partial x_4}+\frac{\partial F_{24}}{\partial x_1}=0,\\
&\frac{\partial F_{12}}{\partial x_3}+\frac{\partial F_{23}}{\partial x_1}+\frac{\partial F_{31}}{\partial x_2}=0.
\end{aligned}\right. \tag{60a}$$

这个方程组对应于麦克斯韦的第二方程组。我们只要置

$$\left\{\begin{aligned}
&F_{23}=\mathfrak{h}_x, \quad F_{14}=\mathfrak{e}_x,\\
&F_{31}=\mathfrak{h}_y, \quad F_{24}=\mathfrak{e}_y,\\
&F_{12}=\mathfrak{h}_z, \quad F_{34}=\mathfrak{e}_z,
\end{aligned}\right. \tag{61}$$

就可立即认出这一点。因此我们可用通常的三维矢量分析的写法来代替(60a)，写成

① 在放弃按照 $g=-1$ 的条件来选取坐标时，就留下四个可自由选择的空间函数，它们相当于我们在选取坐标时可以自由处理的四个任意函数。——原注

$$\text{(60b)}\qquad \begin{cases} \dfrac{\partial \mathfrak{h}}{\partial t} + \operatorname{rot} e = 0, \\ \operatorname{div} \mathfrak{h} = 0. \end{cases}$$

通过推广明可夫斯基所提出的形式，我们得到麦克斯韦的第一方程组。我们引进从属于 $F^{\alpha\beta}$ 的抗变六元矢量

$$\text{(62)}\qquad F^{\mu\nu} = g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}F_{\alpha\beta},$$

以及真空电流密度的抗变四元矢量 J^{μ}。然后，考虑到(40)，我们可以列出对于行列式是1(依照我们所选取的坐标)的任意代换都不变的方程组：

$$\text{(63)}\qquad \frac{\partial}{\partial x_{\nu}}F^{\mu\nu} = J^{\mu}.$$

因为我们设

$$\text{(64)}\qquad \begin{cases} F_{23} = \mathfrak{h}'_x, & F_{14} = e'_x, \\ F_{31} = \mathfrak{h}'_y, & F_{24} = e'_y, \\ F_{12} = \mathfrak{h}'_z, & F_{34} = e'_z, \end{cases}$$

这些量在狭义相对论的特殊情况下等于 $\mathfrak{h}_x \cdots e_z$ 这些量；此外，又置

$$J^1 = i_x, J^2 = i_y, J^3 = i_z, J^4 = \rho,$$

那末代替(63)，我们得到

$$\text{(63a)}\qquad \begin{cases} \operatorname{rot} \mathfrak{h}' - \dfrac{\partial e'}{\partial t} = i, \\ \operatorname{div} e' = \rho. \end{cases}$$

根据我们对于坐标选择所作的约定，方程(60)，(62)和(63)因而构成了麦克斯韦的真空场方程的推广。

电磁场的能量分量　我们作内积

$$\text{(65)}\qquad \kappa_{\sigma} = F_{\sigma\mu}J^{\mu}.$$

依照(61)，它的分量写成如下三维的形式

$$
(65a)\qquad \begin{cases} \kappa_1 = \rho e_x + [\mathfrak{i}\cdot\mathfrak{h}]_x, \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \kappa_4 = -(\mathfrak{i}\cdot\mathfrak{e}). \end{cases}
$$

κ_σ 是一个协变四元矢量，它的分量分别等于带电物体每单位时间和单位体积输送给电磁场的负动量或者能量。如果这些带电物体是自由的，也就是说，它们只受到电磁场的影响，那末协变四元矢量 κ_σ 就会等于零。

为要得到电磁场的能量分量 T_σ^ν，我们只要给方程 $\kappa_\sigma=0$ 以方程(57)的形式。由(63)和(65)，就首先得出①

$$
\kappa_\sigma = F_{\sigma\mu}\frac{\partial F^{\mu\nu}}{\partial x_\nu} = \frac{\partial}{\partial x_\nu}(F_{\sigma\mu}F^{\mu\nu}) - F^{\mu\nu}\frac{\partial F_{\sigma\mu}}{\partial x_\nu}.
$$

右边第二项，按照(60)，允许改写成：

$$
F^{\mu\nu}\frac{\partial F_{\sigma\mu}}{\partial x_\nu} = -\frac{1}{2}F^{\mu\nu}\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} = -\frac{1}{2}g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}F_{\alpha\beta}\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma},
$$

由于对称的缘故，这后一表示式也可写成如下形式，

$$
-\frac{1}{4}\left[g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}F_{\alpha\beta}\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial x_\sigma} + g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}\frac{\partial F_{\alpha\beta}}{\partial x_\sigma}F_{\mu\nu}\right].
$$

但这可以写成

$$
-\frac{1}{4}\frac{\partial}{\partial x_\sigma} + (g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}F_{\alpha\beta}F_{\mu\nu}) + \frac{1}{4}F_{\alpha\beta}F_{\mu\nu}\frac{\partial}{\partial x_\sigma}(g^{\mu\alpha}g^{\nu\beta}).
$$

其中第一项可写成如下较简短的形式

$$
-\frac{1}{4}\frac{\partial}{\partial x_\sigma} + (F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}),
$$

第二项经过微分，并作一些改写以后，得出②

① 下式中最后一项中的 $F^{\mu\nu}$ 原文误为 $F^{\mu\sigma}$。——译者

② 下式原文如此，其中 $\frac{\partial g_{\sigma\tau}}{\partial x_\sigma}$ 似系 $\frac{\partial g_{\rho\tau}}{\partial x_\sigma}$ 之误。——译者

$$-\frac{1}{2}F^{\mu\tau}F_{\mu\nu}g^{\nu\rho}\frac{\partial g_{\sigma\tau}}{\partial x_{\sigma}}.$$

如果我们把所有算出的三项合起来，那末我们就得到如下关系①

(66) $$\kappa_{\sigma}=\frac{\partial T_{\sigma}^{\nu}}{\partial x_{\nu}}-\frac{1}{2}g^{\tau\mu}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_{\sigma}}T_{\tau}^{\nu},$$

此处

(66a) $$T_{\sigma}^{\nu}=-F_{\sigma\alpha}F^{\nu\alpha}+\frac{1}{4}\delta_{\sigma}^{\nu}F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta}.$$

由于(30)，对于$\kappa_{\sigma}=0$，方程(66)相当于(57)或者(57a)。因此T_{σ}^{ν}是电磁场的能量分量。借助于(61)和(64)，我们不难证明，在狭义相对论的情况下，电磁场的这些能量分量就给出了著名的麦克斯韦-坡印廷表示式。

由于我们始终使用那种使$\sqrt{-g}=1$的坐标系，我们现在导出了引力场和物质所遵循的最普遍规律。我们由此可以使公式和计算大大简化，而我们用不着放弃广义协变的要求，因为我们是从广义协变方程中通过坐标的特殊规定而得出我们的方程的。

在引力场和物质的能量分量的相应推广了的定义下，而又不要对坐标系作特殊规定，是不是具有方程(56)这样形式的守恒定律，以及方程(52)或者(52a)那样的关于引力的场方程〔其左边是一个散度(在通常的意义上)，右边是物质和引力的各个能量分量之和〕都成立，这个问题也还不是没有形式上的兴趣的。我发觉这两者实际上正是这样情况。可是我认为不值得把我对这个问题的颇为广泛的考虑讲出来，因为从中毕竟没有得到什么实质性的新东西。

① 下式原文如此，其中$\frac{\partial g_{\sigma\tau}}{\partial x_{\sigma}}$似系$\frac{\partial g_{\rho\tau}}{\partial x_{\sigma}}$之误。——译者

E

§21. 牛顿理论作为第一级近似

曾经不只一次地提到过，狭义相对论作为广义理论的一个特例，是由$g_{\mu\nu}$具有常数值(4)来表征的。按照前面所已讲过的，这意味着完全略去引力作用。当我们考虑到$g_{\mu\nu}$同(4)的值相差只是些微量(同1相比)的情况，并且略去第二级和更高级的微量，我们就得到一个比较接近于实在的近似。(第一种近似观点。)

另外要假定，在所考查的时空领域里，对于适当选取的坐标，$g_{\mu\nu}$在空间无限远处趋近于(4)的值，那就是说，我们所考虑的引力场，可以认为是单单由有限区域里的物质所产生的。

我们可以设想，这些微量的略去，必定引导到牛顿的理论。但要达到这个目的，我们还需要按照第二种观点来近似地处理基本方程。我们考察一个遵照方程(46)的质点运动。在狭义相对论的情况下，这些分量

$$\frac{dx_1}{ds},\frac{dx_2}{ds},\frac{dx_3}{ds}$$

可以取任何值。这就表明任何小于真空中光速的速度($v<1$)

$$v=\sqrt{\left(\frac{dx_1}{dx_4}\right)^2+\left(\frac{dx_2}{dx_4}\right)^2+\left(\frac{dx_3}{dx_4}\right)^2}$$

都可出现。如果我们限于那种几乎唯一能为经验所提供的情况，即v要比光速小得多的情况，那末这就表示，这些分量

$$\frac{dx_1}{ds},\frac{dx_2}{ds},\frac{dx_3}{ds}$$

是当作微量来处理的，而dx_4/ds在准确到第二级微量时都等于

1.（第二种近似观点。）

现在我们注意到，根据第一种近似观点，所有 $\Gamma^{\tau}_{\mu\nu}$ 这些量至少都是第一级的微量。所以看一下(46)就可明白，根据第二种近似观点，在这方程中，我们只要考虑那些 $\mu=\nu=4$ 的项就行了。在限于那些最低阶的项时，我们首先得到代替(46)的方程是

$$\frac{d^2 x_\tau}{dt^2} = \Gamma^{\tau}_{44} \quad ,$$

此处我们已使 $ds=dx_4=dt$，或者在限于那些按照第一种近似观点看来是第一阶的项：

$$\frac{d^2 x_\tau}{dt^2} = \begin{bmatrix} 44 \\ \tau \end{bmatrix} \qquad (\tau = 1,2,3),$$

$$\frac{d^2 x_4}{dt^2} = -\begin{bmatrix} 44 \\ 4 \end{bmatrix} .$$

如果我们还假设引力场是准静态的（*quasi-statisch*）场，也就是使我们只限于产生引力场的物质只是缓慢地（同光的传播速度相比）运动着的那种情况，那末，在同那些关于位置坐标的导数作比较时，我们就可以在右边略去关于时间的导数，由此我们得到

(67)　　$$\frac{d^2 x_\tau}{dt^2} = -\frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_\tau} \qquad (\tau = 1,2,3).$$

这就是遵照牛顿理论的质点运动方程，在这里，$g_{44}/2$ 起着引力势的作用。在这结果里值得注意的是，在第一级近似中，只有基本张量的分量 g_{44} 单独决定着质点的运动。

我们现在转到场方程(53)。这里我们必须考虑到，“物质”的能量张量几乎完全是由狭义的物质的密度 ρ 来决定的，也就是说是由(58)（或者分别由(58a)或(58b)）右边的第二项来决定的。如果我们作了我们感兴趣的近似，那末除了一个分量 $T_{44}=\rho=T$ 之外，其余一切分量都等于零。(53)左边的第二项是第二级的微量；在我们所感兴趣的近似中，第一项给出了

$$+\frac{\partial}{\partial x_1}\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ 1\end{bmatrix}+\frac{\partial}{\partial x_2}\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ 2\end{bmatrix}+\frac{\partial}{\partial x_3}\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ 3\end{bmatrix}-\frac{\partial}{\partial x_4}\begin{bmatrix}\mu\ \nu\\ 4\end{bmatrix}.$$

对于 $\mu=\nu=4$，略去关于时间微分的那些项，就得出

$$-\frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 g_{44}}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2 g_{44}}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2 g_{44}}{\partial x_3^2}\right)=-\frac{1}{2}\Delta g_{44}.$$

(53)的最后一个方程因而给出

(68) $$\Delta g_{44}=\kappa\rho\ .$$

(67)和(68)这些方程合起来，就相当于牛顿的引力定律。

由(67)和(68)，引力势的表示式就成为

(68a) $$-\frac{\kappa}{2\pi}\int\frac{\rho d\tau}{r},$$

而对我们所选取的时间单位，由牛顿理论得出

$$-\frac{K}{c^2}\int\frac{\rho d\tau}{r},$$

这里的 K 代表常数 $6{,}7\cdot 10^{-8}$，通常叫做引力常数。通过比较，得出

(69) $$\kappa=-\frac{8\pi K}{c^2}=1{,}87\cdot 10^{-27}.$$

§ 22. 静引力场中量杆和时钟的性状。光线的弯曲。行星轨道近日点的运动

为要得到作为第一级近似的牛顿理论，我们只需要算出引力势 10 个分量 $g_{\mu\nu}$ 中的一个分量 g_{44}，因为唯有这个分量才进入引力场中质点运动方程(67)的第一级近似。同时由此我们已可看出，$g_{\mu\nu}$ 的其它分量还必须同(4)所给出的值在第一级近似下有所偏离，而后者是条件 $g=-1$ 所要求的。

对于一个位于坐标系原点上产生着场的质点，就第一级近似

来说，我们得到径向对称解：

$$(70)\quad \begin{cases} g_{\rho\sigma} = -\delta_{\rho\sigma} - \alpha\dfrac{x_\rho x_\sigma}{r^3}, (\rho\text{ 和 }\sigma\text{ 在 1 和 3 之间})；\\ g_{\rho 4} = g_{4\rho} = 0 \qquad (\rho\text{ 在 1 和 3 之间})；\\ g_{44} = 1 - \dfrac{\alpha}{r}； \end{cases}$$

此处的 $\delta_{\rho\sigma}$ 是 1 或者 0，分别取决于 $\rho=\sigma$ 还是 $\rho\neq\sigma$；r 是下面的量

$$+\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}\ .$$

这里由于(68a)，而得到

$$(70a)\qquad \alpha = \frac{\kappa M}{4\pi}\ ,$$

只要 M 是表示产生场的质量。不难证明，就第一级近似而论，这个解满足了(在这质点外面的)场方程。

我们现在来考查质量 M 的场对于空间的度规性质所产生的影响。在以“局部”坐标系(§4)所量得的长度和时间 ds 作为一方，以坐标差 dx_ν 作为另一方，两者之间总是存在着如下的关系

$$ds^2 = g_{\mu\nu}dx_\mu dx_\nu\ .$$

比如，对于一根同 x-轴“平行”放着的单位量杆，我们必须使

$$ds^2 = -1;\quad dx_2 = dx_3 = dx_4 = 0,$$

由此，

$$-1 = g_{11}dx_1^2\ .$$

如果加上单位量杆是在 x 轴上的，那末(70)的第一个方程就得出

$$g_{11} = -\left(1 + \frac{\alpha}{r}\right)\ .$$

由这两关系在准确到第一级近似中得出

$$(71)\qquad dx = 1 - \frac{\alpha}{2r}\ .$$

如果这根单位量杆是沿半径放着，由于引力场的存在，这根单位量杆对于坐标系来说，就好像要缩短前面所求得的一定数值。

以类似的方式，比如，如果我们置

$$ds^2 = -1;\quad dx_1 = dx_3 = dx_4 = 0;\quad x_1 = r, x_2 = x_3 = 0,$$

我们就得到切线方向上它的坐标长度。其结果是

(71a)
$$-1 = g_{22}dx_2^2 = -dx_2^2.$$

因此，在切线位置上，这质点的引力场对杆的长度没有影响。

如果我们不管杆的位置和取向，都要认为同一根杆总是体现为同一间距，那末在引力场中，即使就第一级近似来说，欧几里得几何也就不再成立。尽管如此，但看一下(70a)和(69)就可明白，所期望的这种偏差实在是太小了，以致不是地面上的量度所能觉察得到的。

进一步，让我们来考查一只静止地放在静引力场中的单位钟走的快慢。这里，对于一个钟周期来说，

$$ds = -1;\quad dx_1 = dx_2 = dx_3 = 0.$$

$$1 - g_{44}dx_4^2;$$

因此

$$dx_4 = \frac{1}{\sqrt{g_{44}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (g_{44} - 1)}} = 1 - \frac{g_{44} - 1}{2},$$

或者

(72)
$$dx_4 = 1 + \frac{\kappa}{8\pi}\int \rho \frac{d\tau}{r}.$$

所以，如果钟是放在有重物体的近旁，它就要走得慢些。由此可知：从巨大星球表面射到我们这里的光的谱线，必定显得要向光谱的红端移动。①

我们进一步来考查光线在静引力场中的路程。根据狭义相对论，光速是由方程

① 根据弗劳恩德里希(E. Freundlich)，对于某些类型恒星的光谱观察，表明这种效应是存在的，但还没有对这结论做过有决定性的核验。——原注

$$-dx_1^2-dx_2^2-dx_3^2+dx_4^2=0$$

得出的，所以根据广义相对论，它也该由方程

(73)　　$$ds^2=g_{\mu\nu}dx_\mu dx_\nu=0$$

得出。如果方向已知，即 $dx_1:dx_2:dx_3$ 这比率是已知的，那末方程(73)就给出

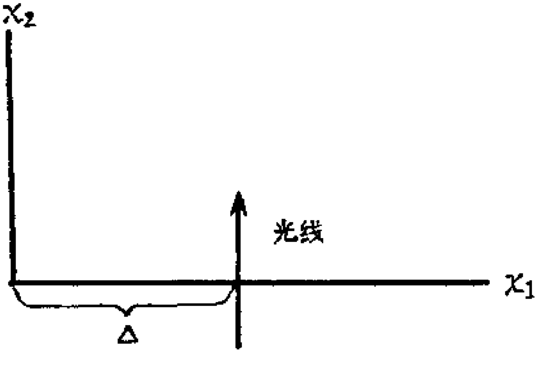
$$\frac{dx_1}{dx_4},\quad\frac{dx_2}{dx_4},\quad\frac{dx_3}{dx_4}$$

这些量，从而也给出了欧几里得几何的意义上所定义的速度

$$\sqrt{\left(\frac{dx_1}{dx_4}\right)^2+\left(\frac{dx_2}{dx_4}\right)^2+\left(\frac{dx_3}{dx_4}\right)^2}=\gamma.$$

我们不难看出，如果 $g_{\mu\nu}$ 不是常数，光线的路程从这坐标系看来必定是弯曲的。如果 n 是垂直于光传播的方向，那末惠更斯原理表明，光线〔在 (γ,n) 平面中看来〕具有曲率 $-\partial\gamma/\partial n$。

我们考查这样一道光线所经历的曲率，它射过质量 M 近旁，相隔距离为 Δ，如果我们照着附图来选定坐标系，那末光线的总弯



曲 B（如果凹向原点，算出来是正的）在足够的近似程度内，可由

$$B=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{\partial\gamma}{\partial x_1}dx_2$$

得出，而(73)和(70)给出

$$\gamma=\sqrt{-\frac{g_{44}}{g_{22}}}=1-\frac{\alpha}{2r}\left(1+\frac{x_2^2}{r^2}\right).$$

计算给出

$$B=\frac{2\alpha}{\Delta}=\frac{\kappa M}{2\pi\Delta}. \tag{74}$$

据此，光线经过太阳，要受到1,7″的弯曲；光线经过木星大约要受到0,02″的弯曲。

如果我们把引力场计算到更高级的近似，并且也同样以相应的准确度来计算一个具有相对无限小质量的质点的轨道运动，那末我们就可得到下面形式的一种对开普勒-牛顿行星运动定律的偏差。行星的轨道椭圆在轨道运动的方向上经受一种缓慢的转动，这种转动的量值是，每一公转

$$\varepsilon=24\pi^3\frac{a^2}{T^2c^2(1-e^2)}. \tag{75}$$

在这公式中，a表示长半轴，c表示通常量度中得到的光速，e表示偏心率，T是以秒来计量的公转时间。①

关于水星，计算得出每一百年轨道转动43″，这完全符合天文学家的观测(勒未里埃)；他们已经发现，由其它行星的摄动所无法说明的这个行星的近日点运动的剩余部分，正是上述这个量。

① 在计算方面，我参考了下列原始论文：A. 爱因斯坦，《普鲁士科学院会议报告》(*Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*)1915年，831页；施瓦兹希耳德(K. Schwarzschild)，同上刊物，1916年，189页。——原注

控　制　论

（或关于在动物和机器中控制和通讯的科学）

〔美国〕 N. 维 纳 著

郝 季 仁 译

简　介

《控制论》(Cybernetics)是美国数学家 N. 维纳(Norbert Wiener,1894—1964)于1948年出版的一本世界名著,是关于他创立的各种学科相互渗透的边缘学科——控制论的经典文献。该书揭示了机器、生命与社会中控制和通讯的共同规律。

1948年第一版中有导言和正文8章,1961年第二版中又新增了2章。作者在导言中详细叙述了他创立该学科的思想发展过程与科学方法。第一章从信息的观点分析了现代自动机的主要特点和进行信息处理的本质特征,认为通讯和控制系统都包含着信息传输和信息处理过程,运用类比方法、功能模拟方法建立了控制论。第二、三章说明熵增加定律不适用于非孤立系统,运用新的时间序列统计力学,建立了维纳的预测、滤波理论,指出信息实质上就是负熵、证明了最优预测公式。第四、五章分析了一切控制系统中普遍存在着反馈与信息处理问题,提出反馈控制原理,并结合系统的稳定性和计算机的特点,探讨了某些神经系统的生理学和病理学问题。第六章信息观点和利用多级反馈原理,讨论了视觉生理问题和感官缺陷弥补问题。第七章结合计算机可靠性、运用功能模拟方法,从控制论观点推测精神病理学中的某些机理,第八章探讨了运用控制论分析社会现象的可能性和局限性。第九、十两章,维纳根据生命系统特殊的学习能力和生殖能力,提出制造学习机、自繁殖机和自组织机的大胆预测和有关技术问题,为科学研究和技

术发明指明了方向，许多预测已经或正在变为现实。

控制论的创立打破了生命与非生命、通讯与控制、科学技术学科与社会科学的界限，具有显著的跨学科性，有人称它为横断科学。它不仅是科学理论，而且具有浓厚的方法论性质。它使人们可以把某些成熟的科学概念和科学方法，运用于不同的学科和领域，从而创新一批新的边缘学科，推动了科学技术的发展。有人称控制论与系统论的创立又一次彻底改变了世界的科学图景与当代科学家的思维方式。

《控制论》发表后，科学家们沿着两个不同的方向发展控制论。心理学家、神经生理学家和医学家用控制论方法研究生命系统的调节和控制问题，促进了对生命机制的了解，建立了神经控制论、生物控制论和医学控制论。控制理论家用控制论的方法研究工程系统的调节和控制问题，中国科学家钱学森 1954 年出版了《工程控制论》专著，标志着这门新学科的创立，哺育了一代工程控制论专家。

70 年代以后，由于人们面临着复杂的社会经济问题，特别是计算机的发展和应用，提供了运用控制论方法研究上述问题的可能性。1965 年出版了波兰经济学家奥斯卡·兰格的《经济控制论》。1975 年在布加勒斯特召开的第三届国际控制论与系统论大会上，以经济系统为主题，确认了这门新学科。1978 年在荷兰阿姆斯特丹召开的第四届国际控制论与系统论大会上，以控制论与社会为主题，确立了社会控制论这门新学科。1979 年我国科学家宋健成功地运用控制论方法创立了人口控制论。

N·维纳 1894 年出生于美国哥伦比亚，幼年时有美国神童之称，14 岁在美国塔夫茨大学毕业，18 岁获哈佛大学数理逻辑学博士，曾就学于英国剑桥大学 B·A·W·罗素和德国哥廷根大学 D·希尔伯特等数学大师。回国后执教于哈佛大学、麻省理工学院。1935 年以前致力于物理过程的数学研究，在数学方面有独特贡

献。1931年为美国数学学会副会长，1933年当选美国科学院院士。1935～1936年曾来中国，被聘为清华大学客座教授，回国后致力于边缘科学研究，开辟了新的科学领域，终以创立控制论而扬名世界。1964年获美国国家科学勋章，同年逝世。

魏宏森

《控制论》中译本和它的译者"郝季仁"

龚育之

新华出版社准备出版一套有长远价值的学术著作丛书，把维纳的《控制论》(Cybernetics)一书列入其中，要求译者写个后记。我作为尚存的两位译者之一，很乐意写几句话，把当时翻译这本书的由来和经历，向今天的读者作个简单的介绍，既是为学术界提供一点学术史料，也是对已经去世的另两位译者表示一点纪念之情。

我们几个人着手翻译维纳这本名著，还是1956年的事情。

1956年这一年，在我们人民共和国的历史上，在我国科学工作的历史上，在我们许多人个人的历史上，是很值得怀恋的一年。"向科学进军"!"百花齐放、百家争鸣"!科学界的精神振奋起来了，科学界的思想活跃起来了。

这一年的1月周恩来总理在党中央召开的知识分子问题会议上作报告，阐述了"现代科学技术正在一日千里地突飞猛进"的逼人形势，特别讲了原子能的利用和"由于电子学和其他科学的进步而产生的电子自动控制机器，已经可以开始有条件地代替一部分特定的脑力劳动，就像其他机器代替体力劳动一样。"结论是："这些最新的成就，使人类面临着一个新的科学技术和工业革命的前夕。这个革命，正如布尔加宁同志所说过的，'就它的意义来说，远远超过蒸汽机和电的出现而产生的工业革命'。"布尔加宁是当时苏联的部长会议主席。

由此可见，当时在苏联，在中国，都在饶有兴味地讨论用电子自动控制机器代替一部分脑力劳动的新的工业革命的问题。这样

的兴趣和讨论，不能不使人注意到最初提出这方面见解（从机器作为人手的延长发展到作为人脑的延长，来看第一次工业革命发展到第二次工业革命）的N.维纳和他创立的Cybernetics，不能不使人对Cybernetics重新作出客观的评价。

说重新评价，就是因为以前有过评价。过去的评价不正确，所以需要重新评价。

苏联过去对Cybernetics的评价，是根本否定的评价。其代表就是1953年第5期《哲学问题》杂志发表的题为《Cybernetics为谁服务》的文章，署名是"唯物主义者"。1954年苏联两位哲学权威主编的《简明哲学辞典》，收有Cybernetics这个条目。这篇文章和这个条目对Cybernetics的判决词是："一种反动的伪科学"，在哲学上是"人是机器"的机械论的现代变种，在政治上是为帝国主义服务的思想武器。

大家知道，从1948年李森科在斯大林和联共中央支持下发动批判摩尔根遗传学的运动开始，苏联在自然科学各个部门对许多学说都进行了粗暴而无理的政治批判和哲学批判。对Cybernetics的批判，仅是其中之一。苏联自然科学领域的这些批判，当时中国大都当作"先进的"东西翻译介绍过来了，并且在中国进行了学习和跟随着组织了或多或少的批判。不过，"唯物主义者"的这篇文章却没有翻译介绍过来，因而中国没有进行对Cybernetics的批判。现在有些文章常说当时中国跟着苏联也批判过Cybernetics，这个情况是没有的。这不是因为当时介绍苏联科学的中国人，在这个问题上有什么觉悟和不同的见解。纯粹是因为当时没有注意到。当然，也不能说苏联对Cybernetics的批判完全没有介绍到中国来，那本《简明哲学辞典》是出了中译本的，中译本根据原书条目的阐释，把Cybernetics译为"大脑机械论"。不过夹在那么一本辞典中的一个小条目，不但中国科学界没有注意到，中国哲学界也没有注意到。

中国注意到 Cybernetics，还是受苏联的影响，在苏联对 Cybernetics 重新讨论和评价以后。1954 年 11 月哲学家和数学史家柯尔曼教授在苏共中央社会科学院作了一个题为《什么是 Cybernetics？》的报告，在《哲学问题》1955 年第 4 期发表了。同一期《哲学问题》还发表了数学家索波列夫院士等三人的文章《Cybernetics 的若干基本特征》。这是苏联重新讨论 Cybernetics 的开始。

苏联科学界的这个动向引起了中国的注意。1955 年 11 月、12 月《学习译丛》（它是中宣部主办的一个月刊）相继发表关于这个动向的报道和胡平、景松译出的柯尔曼的那篇文章：《什么是 Cybernetics？》。因为译者和译丛编辑部的同志不是学自然科学的，就要在中宣部科学处工作的我为他们校订译文。开初他们还是按《简明哲学辞典》的译法，把 Cybernetics 译为“大脑机械论”。这是受过去错误评价而形成的错误译法，当然不应该沿用。该怎么译呢？我们几个人商量，觉得应该按 Cybernetics 这个词的希腊字源和这门科学的现实内涵来译，就商定译为“控制论”。同期《科学通报》译出索波列夫的文章，也统一用“控制论”这个新译法。由此这个译法传播开来，后来有人建议译为“控制学”，这个译法可能更好，但是“控制论”的译法既已传开，用惯，也就不便更改了。

1956 年 1 月知识分子问题会议报告的起草，其中的有关用语，无疑反映了上述的有关讨论和中国对苏联讨论的介绍和关注。

1956 年 5 月，中共中央宣传部长陆定一代表中共中央向科学界和文艺界作报告，阐述党的百花齐放、百家争鸣方针，特别说到自然科学是没有阶级性的；给自然科学学说贴阶级标签，例如说什么“米丘林的学说是社会主义的”、“孟德尔—摩尔根的遗传学是资本主义的”之类，就是错误的，我们切勿相信。陆定一这些话当然是针对苏联过去在自然科学领域进行粗暴批判和我们学习苏联也曾进行过许多粗暴批判这种情况而说的。中宣部科学处在处长于光远的主持下，按百家争鸣方针认真组织和推动了对遗传学问题的

重新评价(1956年青岛遗传学会议)和对其他一些遭到过粗暴批判的学说的重新评价。也就是在这个时候,科学处的三位同志,罗劲柏、侯德彭和我,还有在中宣部国际处工作的陈步,一共四个人,着手翻译维纳的《控制论》。

按我们原来的设想,是准备把翻译的过程当作学习和研究的过程,每译出一章译稿,就在我们几个人中间传观、学习、讨论,不但讨论译文的是否妥当,而且讨论其中的科学内容,还准备吸收几个对这个问题感兴趣的同志一起参加。实际上就是想搞成一个"控制论研究班"。我们的分工是,我译此书的长篇导言,他们三人分译和合校正文的各章。想搞这么一个研究班,就有点仿效维纳在导言中所介绍的他们那个酝酿出控制论思想的研究班的意思。这篇导言的中译文,在1957年第6期《学习译丛》上发表了。

然而,正是1957年6月掀起的那场风暴,把我们这个计划打破了。侯德彭、陈步两位同志被错划为"右派分子"。正文各章,虽已多数译出,但一章一章讨论的原议,没有法子实行了。几个月以后,侯陈两位在等待处理下放之中。我们不甘心这本科学名著的翻译工作就此半途而废。他们三人继续完成了原来承担的翻译任务,相互校订了译稿,由罗劲柏出面,把这部书稿交给科学出版社了。当时规定,被划为"右派"的人不能用真名出版著作。我和罗又不同意只由我们两人署名。这样,就编造了一个名字——"郝季仁"。"郝季仁"者,好几人也。

这本书的出版,已经是1961年的事。1962年又根据原书的1961年第二版,补充了新的两章,出了中译本的第二版。新版的补译,是罗劲柏负责。1985年,这个译本又第三次印刷。这时,侯陈两位的"右派"问题当然都已改正。但是,"郝季仁"这个名字,是一段历史的产物。历史的产物就让它留在历史上。我们都没有动议改署译者的姓名。

现在,新华出版社准备把这个中译本收入新的丛书。罗劲柏同

志已于1985年逝世，陈步同志也于1992年逝世了。我应新华出版社之请来写这篇后记，引起对那一段往事和故友的回忆。罗和我是清华大学同学，他学物理，我学化学，1952年从大学毕业一起分配到中宣部科学处，共事多年，1973年又一起从被砸烂的中宣部“阎王殿”重新分配到国务院科教组，继续共事。粉碎“四人帮”后，虽然不在同一个单位了，但许多时候仍然有机会合作，比如，十二大的文件，中央关于经济体制改革的决定，中央关于教育体制改革的决定，我们都是一起参与一些具体文字工作的。没有想到，就在教育文件出来后不久，罗就发现了胃癌，住进我家附近的北大医院，我常在下班后遛进病房去探望，看到他辗转病床的痛苦，心里很是难受。罗在他周围的同志中，是公认的老实人，即心地善良、埋头苦干的人。党性坚强，一直遵照组织安排在党的领导机关工作，又是书生本色，一直尽可能挤时间从事一些科学研究和著述。罗去世后，我们老科学处的几位同志搜集他的论文，编成集子《科学·人才·经济增长》，由广西科学技术出版社出版。侯德彭同志是1956年从北京大学物理系毕业来到中宣部科学处的，下放劳动后分到广西大学物理系工作，改正后当过广西大学校长，自治区党委和政府的负责干部，除了别的成绩外，在科学哲学方面还出过几本译著。陈步同志比我们都大，解放前在中央大学哲学系毕业。1956年哲学研究所成立自然辩证法研究组时，于光远兼任组长，我兼做学术秘书，后来改由陈步兼做并决定把他调过去，还没有到任，就出了那场麻烦。下放劳动后分到商务印书馆工作，1978年在商务出版了他译的维纳的《人有人的用处》。这是维纳《控制论》的姊妹篇，译这本书的念头也是起于1956年，了却这桩心愿是22年之后了。

我们耽误了多少时间！我们需要为扎扎实实的学术建设抓紧多做工作。

1996年5月18日于万寿塔下

中译本第二版

前言

本书中译本初版是根据原书初版翻译的。1961 年原书再版，订正了初版的一些错误，增加了两章新的内容。现在，趁中译本第二版的机会，译者根据原书再版，对中译本也作了订正，翻译了它新增加的东西。

关于本书的内容，我们在初版的"译者序"中曾作了介绍。"译者序"还对作者的思想观点作了分析批判。从原书再版的情况看，我们认为"译者序"中所作的介绍和分析仍然是合适的。至于原书再版中新增加的内容，维纳在他的再版序言中已作了介绍。因此，关于原书的再版，译者没有什么新的话要说。

译　　者

1962 年 10 月

译 者 序

诺伯特·维纳(NORBERT WIENER)是控制论的创始人之一,他就是通过本书奠定控制论这一新兴科学部门的基础的。自1948年本书出版以来,书中所阐明的一些有关控制论的基本科学思想,一直在这门学科的发展中起着重要的作用,书中提出的不少研究方向,也为以后的研究者大大加以发展。本书是研究控制论的重要的、基本的文献之一。

第二次世界大战前后,通讯技术和自动控制技术都得到了迅速的发展。在这些技术的各自领域都积累了丰富的经验,分别提出了一些理论。但是,抓住一切通讯和控制系统所共同具有的特点,站在一个更概括的理论高度,综合以上各个领域的经验和理论,并且把这些系统的控制机制和现代生物学所发现的生物机体中某些控制机制加以类比,形成控制论这样一门独立的专门的学科,则首先是维纳的功绩。

通讯和控制系统的共同特点在于都包含一个信息变换的过程,一般说来,即包含一个信息的接收、存取和加工的过程。但是,一个通讯系统一般总不会只重复传送某种信息,它们总是适应人们通讯的需要传送着各种不同思想内容的信息。一个自动控制系统,也不像一部只是不断重复某种单调的动作的普通机器,它需要根据周围环境的变化,自动调整自己的运动,也可以说它必须具有一定的灵活性和适应性。由此可见,通讯和控制系统所接收的信息

带有某种随机的性质，也就是本书中经常提到的具有某种统计分布。因此，通讯和控制系统本身的结构也就必须适应它所接收和加工的信息的这种统计性质。维纳正是从这里着手，抓住了一切通讯和控制系统所共同具有的、很本质的一个特性。他说："……灵敏自动机的理论是一个统计的理论。通讯工程的机器，根据单独一次输入而产生的动作是不会使人感到兴趣的。这种机器如果要能充分发挥作用，它就必须对全部输入都作出令人满意的动作。这也就是说，对一类从统计上预期要收到的输入做出统计上令人满意的动作。"（本书 43，44 页）。

维纳在建立控制论的统计理论时，回顾和总结了自牛顿以来科学思想和科学方法论发展的趋势。在本书的第一章里，维纳通过对牛顿力学的相对性、局限性的分析，指出"即便在引力天文学中也有逐渐衰减的摩擦过程。没有一门科学完全符合于严格的牛顿式样。"（本书 36 页）维纳提出查理·达尔文研究进化论，他的儿子乔治·达尔文研究潮汐进化论，他的孙子查理爵士研究量子力学这一虽属偶然的事实，说明统计的、进化的观点正在渗透到科学的各个部门。

牛顿力学的辉煌成就，促进了统治着 17 世纪到 19 世纪自然科学思想的机械唯物论世界观的形成。机械唯物论者否认客观世界的偶然性，把偶然性和必然性绝对地对立起来，企图用拉普拉斯式的决定论来解释一切。因此，他们在深入到微观世界的原子物理学新发现的面前感到束手无策。他们中的一些人就不能不走向原来立场的反面，高谈什么"物质消失了"，"电子的自由意志"，否认客观必然性，否认客观规律。列宁在"唯物主义与经验批判主义"一书中对这种唯心主义思潮作了深刻的批判，他同时指出"新物理学陷入唯心主义，主要就是因为物理学家不懂辩证法。"（列宁全集第 14 卷第 276 页）。

正像牛顿力学不能正确地反映微观世界一样，控制论所面对

的问题也是无法用基于牛顿力学的传统力学方法来解决的。自动控制系统的特点在于它能根据周围环境的某些变化来决定和调整自己的运动；显而易见，要建立关于自动控制的理论，不突破传统的力学方法，不摆脱拉普拉斯决定论，不摆脱机械唯物论，是绝对不可能的。维纳把控制论建立在统计理论的基础上，这就把关于自动控制的研究提到一个新的阶段。

为了给控制论建立一种统计理论，维纳在本书第二章分析批判了吉卜斯的古典统计力学。这个统计力学是总结了热机的技术经验，"按照牛顿力学的本来面目"（本书 45 页）建立起来的，吉卜斯统计力学的重要概念之一，同时也能用在古典热力学中的，就是熵的概念。一个孤立的系统中自发的过程是一个熵不断增加的过程，这个过程一直进行到熵达到极大值，也就是系统达到热平衡为止。吉卜斯统计力学所处理的就是这样的自发地趋于热平衡的系统和过程。维纳认为这样的统计力学是不能直接用来研究控制系统的。他认为熵是系统无组织程度的一种测度，自发地趋于热平衡的孤立系统，无组织程度的确是不断增加，但是，一个控制系统不是一个孤立的系统，而是一个与周围环境密切联系的系统，特别是控制系统通过自己的反馈机构可以减少系统的"无组织程度"，因此，在控制系统中经常发生熵减少的过程。为了给这种系统建立一种统计理论，维纳在第三章提出了时间系列的统计力学问题。

维纳把控制系统所接收和加工的信息流看作一个时间系列（例如电话线中随时间迅速变化着的电压系列就是一个时间系列）。如我们在前面所指出的，控制系统接收和加工的信息具有一定的随机的性质，即有某种统计分布。如果从时间系列的观点看，这就是：一个控制系统可能接收和加工大量不同的时间系列，各个不同的时间系列的出现都有一定的几率。用统计力学的术语来说，也就是控制系统所有可能接收和加工的各个时间系列构成一个统计系综，其中每一个时间系列都是这个统计系综中的一个元。这

样，维纳就解决了控制系统所接收和加工的信息流的统计性质的数学表示问题。

维纳在第三章中进一步提出了研究处在统计平衡的时间系列的问题。运用第二章讨论过的各态历经定理，维纳证明：在一定条件下，处在统计平衡的时间系列的时间平均等于相平均，有了这个前提，就可以从统计系综中任一时间系列过去的数据，求出整个系综的任一统计参数的平均。实质上也就是由过去可以从统计上推知未来，预测未来。维纳正是根据这一点，提出了他的著名的预测和滤波的理论。滤波的问题就是尽可能恢复一个被噪声干扰了的信息流的问题，实质上也就是预测一个被噪声搞混了的时间系列的问题，因之滤波问题仍是一个预测问题。所谓预测，从数学上讲，就是从一个时间系列过去的数据去估算整个系综的统计参数。这种估算得出的是统计参数的平均值，它与客观实在的参数值有一定距离，是会产生误差的。维纳在本章中提出了最优预测的公式[本书 88 页(3.913 式)]，指出了如何使对统计参数的估算所产生的误差为最小。维纳的这项工作为设计自动防空控制炮火等方面的预测问题提供了理论根据，也为评价一个通讯和控制系统加工信息的效率和质量从理论上开辟了一条途径。但是，维纳这方面的理论并没有完成，如他自己所说的"这里发展的统计理论，要求我们对所观测的时间系列的过去具有充分的知识，但无论在什么场合，我们都不能满足这个要求，因为我们的观测不能追溯到无限的过去，为了超出这个范围，使我们的理论发展成为一个实用的统计理论，必须推广现有的抽样方法。"(本书 94 页)同时，维纳的最优预测公式是针对线性的运算器(在数学上就是运算子)来说的，对于广泛的非线性运算子的最优预测问题尚待研究解决。

在本书的第四章和第五章，作者结合着对反馈系统的稳定性和计算机的记忆，运算和控制装置的特点的分析，讨论了神经系统活动的某些机制和病理学的问题。第六章作者利用从电视扫描引

伸过来的群扫描的概念和多级反馈系统的概念，讨论了视觉生理的某些问题和用一种感官来弥补另一种感官的缺陷的问题。第七章作者结合着对电子计算机工作可靠性的讨论，从控制论的观点设想了某些精神病理学现象的可能机制。在这些章节和本书的导言中，作者一再强调，在现代技术的基础上对生物机体的一些生理机制进行模拟的重要性，从控制论的观点研究这些机制的可能性。另一方面，作者也指出，生理学、心理学等方面的成就对形成控制论科学思想的重要影响。维纳在这些章节中阐述的见解大都是属于启发性的，缺乏足够的科学实验根据。但是，其中的一些见解已经为近10几年的研究工作所证实和发展，有一些则一直在引起广泛的争论，不管怎样，维纳的这些见解为自动控制技术的研究，为生物学、物理学和化学的研究开辟了一条重要的途径，则是肯定的。

在本书的最后一章，作者试图运用控制论的观点去分析社会发展的一些根本问题。应该说作者在进行这种研究时所采用的方法和得出的结论都是不能成立的。例如，作者离开了对社会基本矛盾的分析，把社会生活中通讯工具这样一个纯技术性问题提到完全不适当的高度，从而得出通讯工具越发达，社会就越不稳定的结论，并从此进一步得出“小小乡村社会”要比“大的社会”优越得多的反历史的结论。维纳的这种研究不但没有揭露事物的本质，反而以此掩盖了资本主义社会腐朽没落的真正原因。大家知道，资本主义“大社会”之所以危机重重，之所以不稳定，决不是因为通讯工具太发达，根本的原因在于生产的社会性和生产资料的私人占有这一不可调和的矛盾；解决矛盾的出路，决不是倒退到“小小乡村社会”，而是通过社会主义革命建立生产资料社会所有的幸福繁荣的社会主义“大社会”。

控制论研究的是物质相互联系中一类特定的联系形式。这类联系形式在物质发展的最高级形态——社会生活的某些方面也是

可能存在的。因此，在马克思主义历史唯物主义的科学思想指导下，把控制论作为一种辅助的工具去研究社会生活中某些方面的问题是可能有意义的。在本书的一些地方作者也提到控制论应用到社会科学领域的困难，但是，他是从社会现象的"统计游程太短"，无法应用统计理论，这样一个纯技术的观点提出问题的。事实却是，在社会科学的领域，离开了历史唯物主义这一唯一科学理论的指导，要想对社会生活的根本问题得出真正科学的结论，是不可能的。维纳的错误就在于企图把控制论作为一种独立的完整的科学方法去分析社会生活中的根本问题。

在本书的最后一章和书中其他一些地方，作者谈到了自动化的社会后果，表示了他对自动控制技术用于帝国主义战争和生产自动化带来的失业威胁的担忧。作为一个在资本主义社会工作的科学家，维纳对自己的科学发现可能引起的社会后果，抱着严肃的态度，表示不愿意参与直接为帝国主义战争服务的研究工作(本书29页)，这种态度是令人尊敬的。维纳的悲剧在于他看不清产生战争和失业的根本原因，看不到摆脱这种悲惨命运的根本途径和主要的阶级力量。因此，他在本书的一些地方虽然也表示对垄断资本统治的厌恶，要求"建立一个以人的价值为基础而不是以买卖为基础的社会"(本书28页)，但是，他对于能否实现这种社会变革则感到茫然，对于控制论能否造福于人类则认为只是"一个非常微小的希望"(本书29页)。维纳在本书许多地方一再流露的，对于科学技术和人类发展前途的严重的悲观主义思想，反映着在帝国主义国家中，既对垄断资本的法西斯统治不满，又害怕无产阶级革命力量和社会主义国家的一类资产阶级知识分子徬徨苦闷的情绪。

在我们马克思主义者看来，事情是非常清楚的。在阶级社会，在帝国主义时代，"只能用阶级分析的观点，去看待科学技术的发展和使用的问题。"("列宁主义万岁"，红旗杂志，1960年第8期，第10页)由于帝国主义制度是反动的、反人民的制度，所以，帝国

主义国家总是要把各种科学技术用于侵略外国和威胁本国人民的军事目的，用于制造杀人的武器，总是要利用各种科学技术加重对劳动人民的剥削。在帝国主义国家，生产的自动化把社会生产力的发展和资本主义生产关系的矛盾推进到一个新的阶段，自动化的机器把大批劳动者排挤出来，造成严重的失业灾难。在社会主义国家，情形却完全相反。由于社会主义制度是进步的，是代表人民利益的，因此，社会主义国家总是要利用各种科学技术服务于国内和平建设，来征服自然；同时，也为了全世界人民的利益，用它来制止帝国主义战争，保卫世界和平。至于生产的自动化，在社会主义国家根本不会产生失业的问题。自动化的机器因为能够减轻劳动者的繁重劳动，能够大大提高劳动生产率，受到广大劳动者的热烈欢迎。在社会主义国家，生产自动化的研究，不但有专业的科学家、工程师在进行，而且已经形成了一个有广大劳动者参加的群众性的技术革新运动。由此可见，科学技术的发展和使用归根到底决定于社会制度，决定于那个阶级在社会中占居统治地位。也就是，像控制论这样一些科学技术的新发现，在帝国主义国家，用维纳的语言来说，必然被用来“作恶”，在社会主义国家必然被用来“为善”。在帝国主义国家，任何科学家，如果真正希望用自己的科学发明为人民服务，而不为战争和剥削的事业服务，就必须反对帝国主义制度，就应该站到无产阶级方面来，在无产阶级领导下进行争取和平和社会主义的斗争。

维纳的这本书出版已经10几年。10几年来，以电子计算机为核心的各种控制机、信息机得到迅速的发展。科学技术的这些辉煌成就引起了许多国家科学界、哲学界关于机器能否学习，能否思维的广泛讨论，关于机器的“学习”，机器的“思维”这类的说法，有些人只是把它当作一种语言的借用，有些人则在认真地谈论着机器的思维，因为他们在讨论机器是否比人更聪明之类的问题。因此，如何在马克思主义思想指导下，正确地阐明和概括当代科学技术

的这些最新成就，是摆在我国科学界和哲学界面前的一项重要任务。译者认为，在研究这些问题时，有一点是明确的，这就是把人和机器对立起来，去评价和比较两者的工作能力，这种思想只不过是资本主义生产关系的一种反映。资本主义生产关系造成生产资料和劳动者的分离。在资本家看来，生产资料和劳动者同为资本获得利润的手段，机器和雇佣劳动力是可以互相替换、互相竞争的。但是，当我们揭穿了资本主义生产关系的剥削实质，我们就看到任何机器都是人手和人脑的劳动的产物，机器永远是人进行劳动的工具。人的劳动和智慧的创造力是无穷无尽的，因此，这种创造力的产物——科学技术的发展，也是无穷无尽的。对于未来的机器的工作能力我们现在很难为它划定一个固定的范围，只能在科学技术已经达到的基础上对最近将来的发展作出各种估计。但是，不论科学技术如何进步，不论各种机器的工作能力如何发展，它们总是人的劳动的工具，如马克思所说的，总是人手和人脑的延长和加强。机器和人之间永远不存在谁比谁更聪明的关系。当然，把现在的机器和生物机体，电子计算机和人的大脑加以对比，研究其相似之处和相似的共同物质基础，研究其区别和产生本质区别的根本原因，研究在这些问题上高级运动形态和低级运动形态的区别和联系等等都是很有兴趣的。在马克思主义思想指导下，来研究这些问题，必将对哲学和现代科学的丰富和发展作出重要贡献。

× × ×

译者在翻译本书时曾经参照俄文和日文译本作了些校正，并选用了两种译本的一些注解。为了说明译者对本书的理解和意见写了这篇译者序，限于水平，错误之处可能很多。希望读者对译文和译者序中不妥之处提出批评和指正。

译　者

1962 年 5 月

原著第二版序言

大约 13 年前，当我写“控制论”初版的时候，我是在某些严重困难的条件下进行这一工作的，它使初版不幸产生许多排印上的错误和少数内容上的错误。现在，我相信这样的时刻已经来到，控制论已经不只是被当作要在未来某一时期方能实现的计划，它已经是一门现存的科学。因此，我借这个机会，根据读者的要求，对初版作了必要的改正，与此同时，根据这门学科的现状和初版问世以来出现的有关的新思想方法，把初版加以扩充。

如果一门新的科学学科是真正有生命力的，它的引人兴趣的中心就必须而且应该随岁月而转移。当我开始写“控制论”的时候，我发现说明我的观点的主要困难在于：统计信息和控制理论的概念，对当时传统的思想来说，不但是新奇的，也许甚至是对传统思想本身的一种冲击。现在，这些概念已经成为通信工程师和自动控制设计师手中如此熟习的工具，以至我现在主要要担心的是，本书是否会被人认为已经陈旧和平庸。反馈的重要性在工程设计和生物学中都已经牢固地奠定了，信息的应用、量测和传输信息的技术成为训练工程师、生理学家、心理学家和社会学家不可少的一部分。当本书初版发行时，自动机还仅仅是一种预测，现在已经取得

了自已的地位，至于我在本书中和在“人应该像人那样来使用”①的通俗小册子中一再警告过的、与自动化相联系的社会危机则已经从地平线上升起很高了。

因此，控制论学家应该继续走向新的领域，应该把他的大部分注意力转到近10年的发展中新兴的思想上去。各种简单的线性反馈的研究，在唤起科学家对控制论的研究方面曾经是十分重要的，但是，这些反馈现在看来已经并不像它们最初所显出的那样简单和线性的了。的确，在早期的电路理论中，系统处理线路网络的数学方法并没有超出对电阻、电容、电感和线性并置。这就是说，整个问题只要用对被传输消息的调和分析和消息所通过的线路中的阻抗、导纳及电压比就足够加以描述。

在“控制论”出版很久以前，人们就已经开始认识到，上述框子不易适于对非线性电路(如我们在许多放大器、电压限制器、整流器和其他器件所发现的)的研究。虽然如此，由于缺乏一种较好的方法，把老的电机工程的线性概念加以扩充，扩充到远远超出这些新的装置能够用这些老概念自然地加以表示的范围的种种尝试一直在进行着。

大约是1920年，当我来麻省理工学院的时候，处理与非线性装置有关的问题的一般方式是把阻抗概念设法加以扩充，使它既包括线性系统，又包括非线性系统。结果使得非线性电机工程的研究陷入一种类似托勒密天文学系统的最后阶段所处的那种状态，那时的托勒密天文学是本轮上再套以本轮，修正上面加修正，直到那庞大的杂凑的结构最后在自身重量的作用下被压跨。

正像哥白尼系统从捉襟见肘的托勒密系统的残骸上升起，以它简单而自然的日心说代替复杂而不清楚的托勒密地心说来描述

① Wiener, N., *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*. Houghton Mifflin Company, Boston, 1950.

天体的运行一样，非线性结构和系统(不论它们是电气的或机械的，天生的还是人造的)的研究也需要一个新的、独立的出发点。我在“非线性问题的随机理论”①一书中曾试图为此开辟一条新途径。现在弄清楚了，在处理线性现象的极为重要的三角分析，在我们研究非线性现象时并不要它。有一个十分明白的数学上的理由来说明这个问题。电路现象，像许多其他的物理现象一样，都存在一种不变性作为它的特征，这种不变性是对时间原点的移动为不变来说的。一个物理实验，如果从中午开始，要到 2 点钟才达到某一阶段，假设从 12 点 15 分开始，则要到 2 点 15 分才能达到那同一阶段。也就是说，物理定律对于时间平移群是不变式。

对于上述的平移时间群，三角函数 $\sin nt$ 和 $\cos nt$ 也有某个重要的不变式。在 t 上加 τ 的平移，使一般函数

$$e^{iwt}$$

变成

$$e^{iw(t+\tau)} = e^{iw\tau}e^{iwt}$$

的形式，这是与前一函数相同的函数。因为

$$\begin{aligned} a\cos n(t+\tau) + b\sin n(t+\tau) \\ &= (a\cos n\tau + b\sin n\tau)\cos nt + \\ &\quad + (b\cos n\tau - a\sin n\tau)\sin nt \\ &= a_1\cos nt + b_1\sin nt, \end{aligned}$$

也就是说，函数族

$$Ae^{iwt}$$

和

$$A\cos wt + B\sin wt$$

在平移下是不变式。

① Wiener, N., *Nonlinear Problems in Random Theory*, The Technology Press of M. I. T. and John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.

还有另外一些函数族它们也是平移的不变式。我们来看看所谓随机行走，作这种行走的一个粒子的运动在任何时间间隔内都有一个分布，这个分布只与时间间隔的长度有关，而与这时间间隔的起始点无任何关系，随机行走系统经时间平移后也仍然是自己本身。

也就是说，有别的函数集也具有三角曲线的那种纯平移不变性。

三角函数在这种不变性上还附带有一种性质作为它的特征，这就是

$$Ae^{i\omega t} + Be^{i\omega t} = (A + B)e^{i\omega t}.$$

因此，这些函数形成一极简单的线性集。请注意这种性质与直线性有关；也就是我们可以把频率一定的所有振动都化为两个振动的线性组合。正是这一特性使调和分析在处理电路的线性性质时具有价值。函数

$$e^{i\omega t}$$

是平移群的特征标，从这函数得出这种群的线性表示。

当我们要进行的函数组合不只涉及常系数相加时——如当把两函数互乘时——简单三角函数不再有这种初等群的性质。另一方面，随机行走中显示出来的随机函数却具有某种非常适合于用来讨论非线性组合的性质。

我不想在这里详细讨论这个问题，因为它在数学上过于复杂，在我的"随机理论的非线性问题"书中涉及了这个问题。书中的材料已经在讨论特殊的非线性问题时发挥很大的作用，但是要实现书中提出的计划，还有许多工作要做。它在实践中的结论就是：在研究非线性系统时，布朗运动的特征标比三角函数集更适于用来作为测试用的输入。在研究线路时，布朗运动的函数可以用物理方法靠散粒效应来产生。散粒效应是电流中的一种不规则现象，它是由于电流并不是由一连续的电的流动所引起的，而是由一系列可

分开的、相等的电子的流动所引起的。因此，电流具有统计的无规则性。电流本身有一定的均匀特性，但当它被放大到某一倍数时，就显出它包含有相当大的随机噪声。

我将在第九章中表明，随机噪声的这种理论不只是可在电路和其他非线性过程的分析上加以实际应用，而且在它们的综合上同样可以加以应用①。用来实现这些目的的仪器，把有随机输入的非线性装置的输出，化为一由某些规格化正交函数组成的特定系列，这些函数与厄米特多项式很相近。非线性线路的分析问题在于用平均的方法，从输入的某些参数来定这些多项式的系数。

这种方法的说明是非常简单的。用黑箱表示一个尚未分析出来的非线性系统，还有，我把某些具有已知结构的物体叫做白箱，用它们表示所求展开式的各项②。我把同一随机噪声加进黑箱和一给定的白箱。在黑箱的展开式中，给定白箱的系数由黑箱和那白箱的输出的乘积的平均值来给定。这个平均值是对散粒效应输入的整个系综的平均值，但是有一条定理允许我们一般都可以用一个对时间的平均值来代替这个对系综的平均值，只有一组概率为零的情形不允许这样做。要得到这个对时间的平均值，我们只需一个随便什么乘法器，用它得到黑箱和白箱输出的乘积，至于平均器，不用说我们可以利用下述事实，即电容器上的电压与电容器中

① 我在这里用“非线性系统”一词并不排除线性系统，而是包括很大一类系统。用随机噪声来对非线性系统加以分析的方法也适用于线性系统，而且已经这样用了。

② “黑箱”和“白箱”两词是一种方便而形象的说法，它们的含义还不十分确定。我把黑箱了解为这样一种装置，它是有两个输入端和两个输出端的四端网络，它对输入电压的现在和过去实行一确定的操作，但是关于它靠什么结构来执行这种操作，我们并不必须知道任何信息。另一方面，白箱也具有类似的网络，它是我们为了获得输入——输入间一事先确定的关系，根据特定的构造计划，在输入和输出电压之间建立起联系的那种网络。

的电量是成比例的，因之，也是与通过电容器的电流的时间积分成比例的。

构成黑箱的等价表示式的各相加白箱的系数不但可以逐一确定，而且可以同时定出来。甚至还可以利用适当的反馈装置，使每一个白箱自动调节自己到与黑箱展开式中它的系数相应的水平。这样我们就能制造一个多用白箱，当这个白箱与一黑箱恰当地联接起来，并使两箱接上同一随机输入时，这个白箱将会自动地使自己成为那个黑箱的运箱上的等价体，虽然它们的结构可以有很大的不同。

这些分析，综合的操作和白箱把自己自动调节到和黑箱相等的操作都可以用另外一种由亚玛·博丝(Amar Bose)教授①和格博(Gabor)教授②提出的方法来实现。在所有这些方法中，用了一套发动和学习的程序，这些程序是通过为黑箱和各白箱选择恰当的输入并把两种箱子加以比较来实现的；在许多这类的程序中，包括格博教授的方法所用的程序中，乘法装置都起着重要作用。用电的方法使两个函数相乘的问题虽然有许多途径可走，但在技术上却不容易实现。一方面，一个好的乘法器必须在一个很大的振幅范围内工作。另一方面，为了使它在高频时保持准确，它的操作必须几乎是立即瞬时完成的。格博要求他的乘法器频率变化范围近1,000周。在他担任伦敦大学科学和工艺皇家学院电机工程教授的就职演说中，他没有明显地说出他的相乘方法适用的频率范围，也

① Bose, A. G., "Nonlinear System Characterization and Optimization", *IRE Transactions on Information Theory*, IT—5, 30—40 (1959) (Special Supplement to *IRE Transactions*).

② Gabor, D., "Electronic Inventions and Their Impact on Civilization", *Inaugural lecture*, March 3, 1959, Imperial College of Science and Technology, University of London, England.

没有说出它们能达到的准确度。我迫切等待着这些性质的明显说明，以便能对这种乘法器用在与它有关的其它仪器上的价值作出可靠的估计。

所有这些装置里面都有一个仪器能根据过去的经验使自己采取特定的结构或功能，这样的装置引起工程学和生物学中一种非常新的看法。在工程学中，具有类似性质的装置，不但能够用来作游戏和作其他有目的的行动，而且它在作这些事情时，还可以根据过去的经验来不断地改进自己的行为。我将在本书第九章讨论这方面的某些可能性。生物学上，我们至少也遇到类似的现象，它们可能是生命的主要现象。遗传之所以可能，细胞之所以繁殖，必须靠细胞中携带遗传的部分——即所谓基因——能够建造另一个和自己相像的同样的携带遗传的结构。因此，如果有一种方法，使得人造的结构能够生产出另一与自己的功能相同的结构出来，这将是非常激动人的事。我将用第十章专门研究这个问题，特别要讨论一给定频率的振荡系统怎样来把另一些振荡系统变成与它的频率相同的振荡系统。

人们常说产生任何一特殊种类的分子使它和一现存的分子相同的问题与工程中使用样板的问题相类似，因为我们用一部机器的一个功能元件作样子，靠它把另一个相同的元件做出来。样板的阴模是一个静态的东西，而一个基因分子制造另一基因分子则必须有某个过程。我有一个尝试性的意见：频率（例如分子谱线的频率）可以是样板元件，生物物质的相同由它来实现；基因的自繁殖可能是我要在后面讨论的频率自繁殖的一种表现。

我已经一般地谈到过学习机。我将用一章来详细地讨论这些机器、实现它的可能性和涉及它的应用的某些问题。这里我只打算作一点一般性的说明。

如第一章中将看到的，学习机的概念与控制论本身是同时出现的。在我提到的防空预测器中，预测器的线性特性决定于我们对

打算预测的那个时间序列的统计系综的长期认识。当对这些线性特性的知识能够根据我在该章中给出的原则从数学上计算出来时，我们就完全能够设计一种计算器，用它算出这些统计特性，把预测器的短期特性用这同一个机器在进行预测中已经得到的经验来表示，而且这种表示是自动地完成的，这种方法能远远超出纯粹的线性预测器的范围。在卡里安帕尔(Kallianpur)，马塞里(Massani)，亚郭托维奇(Akutowicz)和我自己①的许多论文中，已经发展了一种非线性预测的理论，这种预测想必至少可以用相同的方法来机械化，即利用长期观察为短期预测建立一统计基础。

线性的和非线性的预测理论都涉及预测的切合程度的某种判定标准。最简单的判定准则就是使误差的均方值减到最小，虽然这个准则决不是唯一有用的准则。这个准则以一种特殊的形式联系布朗运动的汎函加以应用，我用这些汎函来构造一个非线性仪器，只要我的展开式中有许多项具有一定的正交性。这些正交性使得有限数目的这些项的部分和就是那要仿造的仪器的最好的模仿。只要保持住误差的均方判定准则的要求，我们就能用这些项来制造那仪器。格博的工作也是建立在误差的均方判定准则上，但是通过一种更普遍的方法，它能够应用到由经验获得的时间序列上。

学习机的概念可以扩充到远远超出应用预测器、滤过器和其他类似仪器的范围。研究和制造出能玩象棋之类的竞争性游戏的机器是特别重要的。这方面萨美埃尔(Samuel)②和瓦坦拉比

---

① Wiener, N. , and P. Masani, "The Prediction Theory of Multivariate Stochastic Processes", Part I, *Acta Mathematica*, 98, 111—150(1957); Part II, *ibid*, 99, 93—137(1958). Wiener, N. , and E. J. Akutowicz, "The Definition and Ergodic Properties of the Stochastic Adjoint of a Unitary Thansformation", *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, Ser. II, VI, 205—217(1957).

② Samuel, A. L. , "some studies in Machine Leaining, Using the Game of Checkers", *IBM Iournal of Research and Department*, 3, 210—229(1959).

(Watanabe)①在国际商业机器公司的实验室已经进行了重要的工作。在滤过器和预测器的情况下,时间序列的某些函数都由一大类本身能够被展开的函数来表示。这些函数对于决定游戏取胜有意义的量都有一数值计算。这些量包括例如双方棋子的数目,这些棋子的总活动范围,它们的机动性等等,在开始使用机器时,各种不同的走法上的考虑都被给定一尝试性的权重(tentative weightings),机器选择一种规则上容许的,总权重为最大值的走法。到此为止机器还是按定死的计划来工作,还不是一部学习机。

但是,有时机器执行另一种不同的任务。它试着把那个函数(该函数值在游戏取胜时为 1,失败时为 0,平局时可能为 1/2)用许多函数来开展,这些函数代表的是机器能够认识到的那些方案。这样,机器重新确定这些方案的权重,使自己能玩更复杂的游戏。我将在第九章中讨论这类机器的某些性质,但是我在这里要指出,已经非常成功地使机器在经过 10 到 20 小时的学习和工作后,能够击败它的设计者,我还想在那一章中提到在类似的机器上进行的研究工作中,这些机器设计来证明几何定理和在有限的程度内模拟逻辑推理。

所有这种工作都是自动程序设计的理论和实践的一部分,在麻省理工学院电子系统实验室,对于自动程序设计进行过深入的研究。现在已经发现,除非用上某种学习机器,要设计出一部严格模仿其他机器的机器是一件非常困难的事,而现在却迫切需要有能设计这种程序的机器。

现在,学习机的概念不但应用于我们制造出来的机器,而且适用于我们叫做动物的那些活机器,因此,有可能给生物控制论以新的希望。在许多最近的研究工作中,我愿意指出斯坦莱—约里斯论

---

① Watanabe, S., "Information Theoretical Analysis of Multivariate Correlation", *IBM Lournal of Research and Davelopment*, 4, 66—82(1960).

生命系统的控制论(Cybernetics of living systems，请注意控制论一词的拼法)一书①。在这本书中，他们对神经系统的反馈给予了很大的注意，这些反馈工作水平，又像其它对特殊刺激起反应的反馈一样能保持神经系统的工作水平。既然系统的工作水平与特殊反应的组合在很大范围内是乘性的，这种组合也就是非线性的而且具有我们已提及的那种种性质。这个领域的工作最近非常活跃，希望它在不久的将来变得更为活跃。

我曾经提出过的记忆机和自繁殖机的方法在很大程度上要靠具有高度专门化的装置，或者我叫它蓝图式的装置才能实现。同一过程的生理方面必然更多地符合生命机体某些特有的机能，在生命机体中，照蓝图行事的过程为另一较不专门化的，但使系统能组织自己的过程所代替。本书第十章专门研究了自行组织过程的一个实例，即由于这种过程，在脑电波中出现狭窄的，高度分化的频率。因此，第十章大部分是前一章在生理学上的补充，前一章中我在较为蓝图式一点的基础上讨论了同一过程。脑电波中有谱线很细的频率以及我提出的解释它们是怎样产生出来的理论，它们能起什么作用，它们可以有什么医学上的应用，所有这些，在我看来，都是生理学中重要的新的突破。类似的概念也可以用在生理学的许多其他地方而且可以对生命现象的基本研究作出真正的贡献，在这个领域中，我刚才提出来的东西与其说是已经完成的研究结果，不如说还是一个研究计划，但是却是一个我对之抱很大希望的计划。

不论是初版或本版中，我都没有想把本书写成一本包括控制论中所有进行过的工作的纲要。这既不是我的兴趣所在，也不是我的能力所及。我注意的是表明和详述我在这门学科上的思想，摆出

① Stanley-Jones, D., and K. Stanley-Jones, *Kybernetics of Natural Systems, A Study in Patterns of Control*, Pergamon Press, London, 1960.

那些开始引导我进入这个领域和在它的发展中继续引起我的兴趣的某些观念和哲学上的考虑。因此，本书纯粹是一本阐述个人思想的书，书中对于我自己感兴趣的那些东西给予了很大的篇幅，对于我自己没有研究过的东西，篇幅却较小。

在修订本书时，我从各方面得到有力的帮助。我要特别提到康斯坦斯(Constance)小姐，麻省理工学院出版社的波伊德(D. Boyd)，东京工艺研究所的池原志子(Shikao Ikehara)博士，麻省理工学院电机工程系的李郁荣博士，贝尔电话实验室的拉伊斯别克(Gordon Raisbeck)的合作。还有关于我写出的新的几章，特别是关于第十章的计算(计算中我考虑到自行组织系统的问题，这种系统在研究脑动电流图时可以发现)，我要提到从我的学生柯特洛(John C. Kottelly)和罗滨逊(Charles E. Robinson)所得到的帮助，特别还要提到麻省省立医院巴尔洛(John S. Barlow)博士的帮助。索引是由戴维斯(James W. Davis)做的。

没有他们这些人的专心致意，我是既没有这种勇气，也不可能这样正确地写出这新的修订版。

诺伯特·维纳

剑桥，麻萨诸塞州

1961 年 3 月

第一部分

初　　版

1948

导　言

这本书是10多年来我和当时在哈佛医科学校、现在在墨西哥国立心脏学研究所的阿托罗·罗森勃吕特博士共同研究的成果。在那些日子里，罗森勃吕特博士(他是已故的华尔特·皮·堪农博士的同事和合作者)领导了一个每月举行的关于科学方法的讨论会。参加者大都是哈佛医科学校的青年科学家，我们一起在日德毕尔特大厅围着圆桌子吃饭。谈话是活泼的，毫无拘束的。这可不是一处鼓励任何人或者使任何人有可能摆架子的地方。饭后，由某一个人，或者是我们这个集体中的一员，或者是一位邀请来的客人，宣读一篇关于某个科学问题的论文，一般地这是一篇其首要思想，或者至少其主导思想是关于方法论问题的论文。宣读者必须经受一通尖锐批评的夹击，批评是善意的然而毫不客气的。这对于半通不通的思想，不充分的自我批评，过分的自信和妄自尊大真是一剂泻药，受不了的人下次不再来了。但是，在这些会议的常客中，有不少人感到了这对于我们科学的进展是一个重要而经久的贡献。

并不是所有的参加者都是医生或医学科学家。我们中间有一个人，他是一个非常坚定的成员，对于我们的讨论有很大的帮助，这就是曼纽尔·桑陀瓦尔·瓦拉尔塔博士，他和罗森勃吕特博士一样，也是墨西哥人，在麻萨诸塞理工学院当物理教授，他是我在第一次世界大战之后到这个学院来教书时的最初的学生之一。瓦拉尔塔博士常常带领一些麻省理工学院的同事来参加这些讨论

会，正是在这些讨论会的某一次会上，我初次会见了罗森勃吕特博士。我长时期以来就对科学方法很感兴趣，曾经参加过1911－1913年间在哈佛由约瑟夫·劳埃斯领导的关于这个题目的讨论班；况且，他们感到，有一个能够批判地考虑数学问题的人参加进来，是很重要的，因而我就成了这个集体的积极成员，直到1944年罗森勃吕特博士叫我到墨西哥去而且战时的混乱状态结束了这一系列的讨论会为止。

许多年来，罗森勃吕特博士和我共同相信，在科学发展上可以得到最大收获的领域是各种已经建立起来的部门之间的被忽视的无人区。从莱布尼茨以后，似乎再没有一个人能够充分地掌握当代的全部知识活动了。从那时候起，科学日益成为专门家在愈来愈狭窄领域内进行着的事业。在上一世纪，也许没有莱布尼茨这样的人，但还有一个高斯，一个法拉第，一个达尔文。今天，没有几个学者能够不加任何限制而自称为数学家，或者物理学家，或者生物学家。一个人可以是一个拓扑学家，或者一个声学家，或者一个甲虫学家。他满嘴是他那个领域的行话，知道那个领域的全部文献，那个领域的全部分枝，但是，他往往会把邻近的科学问题看作与己无关的事情，而且认为如果自己对这种问题发生任何兴趣，那是不能容许的侵犯人家地盘的行为。

这些专门化的领域在不断增长，并且侵入新的疆土。结果就像美国移民者、英国人、墨西哥人和俄罗斯人同时侵入俄勒冈州所造成的情形一样——大家都来探险、命名和立法，弄得乱七八糟、纠缠不清。有这样一些科学工作的领域，我们在本书的正文中将要讨论到，人们从纯粹数学、统计学、电工学和神经生理学等等不同方面来探索它；在这样的领域里，每一个简单的概念从各方面得到不同的名称；在这样的领域里，一些重要的工作被各方面重复地做了三四遍；可是却有另一些重要工作，它们在一个领域里由于得不到结果而拖延下来，但在邻近的领域里却早已成为古典的工作。

正是这些科学的边缘区域，给有修养的研究者提供了最丰富的机会。同时这些边缘区域也是最最不能用集体攻击和劳动分工这种公认的方法来达到目的的。如果一个生理学问题的困难实质上是数学的困难，那么，10 个不懂数学的生理学家的研究成绩会和一个不懂数学的生理学家的研究成绩完全一样，不会更多，如果一个不懂数学的生理学家和一个不懂生理学的数学家合作，那么，这个人不会用那个人所能接受的术语表达自己的问题，那个人也不能用这个人所懂得的任何形式来作出自己的回答。罗森勃吕特博士一直坚持主张，到科学地图上的这些空白地区去作适当的查勘工作，只能由这样一群科学家来担任，他们每人都是自己领域中的专家，但是每人对他的邻近的领域都有十分正确和熟练的知识；大家都习于共同工作，互相熟悉对方思想习惯，并且能在同事们还没有以完整的形式表达出自己的新想法的时候就理解这种新想法的意义。数学家不需要有领导一个生理学实验的本领，但却需要有了解一个生理学实验、批判一个实验和建议别人去进行一个实验的本领。生理学家不需要有证明某一个数学定理的本领，但是必须能够了解数学定理中的生理学意义，能够告诉数学家他应当去寻找什么东西。我们多年来梦想着集合这样一批自由的科学家，在这样一块科学处女地上共同工作。他们结合在一起，并不像一群下属围绕着一个司令官，而是由于那种要想理解这整个区域和互相取长补短的愿望，更正确地说，由于这样一种精神上的需要。

远在我们选定共同研究的领域和各自分担的部分之前，我们在这些问题上的观点就已经一致了。走上这新的一步的决定性因素是战争。很久以来，我就知道，一旦国家有事，我的作用将主要地决定于两件事情：同万涅瓦·布希博士所拟订的计算机研究计划进行密切接触，我同李郁荣博士关于电网络设计工作的合作。事实上，这两件事情后来都证明了是重要的。1940 年夏天，我把大部分注意力转向发展计算机来解答偏微分方程。我对于这个问题早就

有兴趣，并且相信，和布希博士用他的微分分析机处理得很好的常微分方程的情形不同，这里的主要问题是多变数函数的表示问题。同时我还相信，电视中所用的扫描过程给出了这个问题的答案，而且，事实上电视不止是一种独立的工业，它作为一种新的技术而加以引用就注定了要对工程技术发挥更大的用处。

显然，同常微分方程问题相比，任何扫描过程都必须大大增加所要处理数据的数目。为了要在合理的时间以内得出合理的计算结果，必须使基本运算过程的速度达到极大，并且要避免用那些本性缓慢的步骤来打断这些过程的连续进行。同时还必须使单个过程的精确度很高，以免由于基本运算过程的大量重复使得积累起来的误差大到断送了全部精确性的地步。因此我提出了下列建议：

1）在计算机中心部分，加法和乘法装置应当是数字式的，如同通常的加法机一样，而不是基于量度的，如同布希微分分析机那样；

2）这些实质上是开关装置的机件应当由电子管来做，而不要由齿轮或机械替续器来做，以便保证更快速的动作；

3）根据贝尔电话研究所的现有装置所采用的方针，加法和乘法采用二进位制比起采用十进位制来，在装置上大概会更为经济些；

4）全部运算序列要在机器上自动进行，从把数据放进机器的时候起到最后把结果拿出来为止，中间应该没有人的干预；为此所需的一切逻辑判断都必须由机器自身作出；

5）机器中要包含一种用来储藏数据的装置，这个装置要迅速地把数据记录下来，并且把数据牢固地保存住，直到清除掉为止，读出数据要迅速，清除数据也要迅速，而且又要能够立刻用来储藏新的材料。

这些建议，连同关于如何实现这些建议的初步意见都送交布希博士，以备在战争中可能有用处。在战争准备阶段，这些建议似

乎不配获得立刻进行研究的那种优先待遇。虽然如此，它们还是代表了那些体现在现代快速计算机中的观念。这些概念在当时思潮的精神之中都已经有了，我丝毫没有想到要宣布诸如我个人对于引进这些概念的贡献之类的事情。尽管如此，我的这些想法被证明是有用的，我的希望也就是要使我这个备忘录能对工程界普及这些概念发生若干作用，无论如何，我们将要在本书的正文中看到，这都是一些与研究神经系统有关的有趣的观念。

这件工作就这样摆到桌子上来了，虽然这些想法是有用的，却没有引导罗森勃吕特博士和我来立即着手加以研究。我们的实际合作是由于另一个计划引起来的，这个计划也是为了上次战争的目的而采取的。在战争初期，德国的空军优势和英国的防御地位使许多科学家的注意力转向改进防空武器的工作。甚至在战争以前就已经十分清楚，飞机的高速度使得所有古老的火力瞄准方法都变得陈旧无用了，必须使控制装置能够进行全部必需的计算。飞机和从前遇到过的所有的射击目标不一样，它的速度比用来击落它的炮弹的速度小不了很多，这个情况带来了很大困难。因此，十分重要的是，射出炮弹时，并不是要朝着射击目标，而是要使投射物和射击目标在未来的某个时刻同时到达空间的某处。因此，我们必须寻找到某种预测飞机的未来位置的方法。

最简单的方法就是把飞机当时的航线沿着一条直线外推。有许多理由推荐这个方法。飞机在飞行中急转和拐弯越多，它的有效速度就越小，它用来完成飞行任务的时间就越少，它留在危险区域的时间就越长。如果其它的条件都相等，飞机就要尽可能地沿直线飞行。可是从第一声高射炮打响以后起，条件不相等了，飞行员就可能飞曲线，翻筋斗，或者用其他方式采取逃避的动作。

如果这种动作飞行员能够完全随意进行，而且飞行员能很聪明地运用他的机会，如同一个优秀的扑克专家那样，那末，他就有足够多的机会在炮弹到达以前来掩饰他所希望到达的位置，使我

们不能很准确地计算到射中它的机会，除非我们运用耗费很大的密集防御炮火。可是情况不是这样，飞行员并没有按照自己的意愿来操纵飞机的完全自由。只说一件事情：他是在一架高速飞行着的飞机之中，任何过于急骤地偏离原来航线的动作都会产生极大的加速度，以致使他失去知觉或使飞机解体。再有他只能用转动飞机的操纵面的方法来操纵飞机，而转变到新的飞行状态需要一段短的时间。即使操纵面转到新位置，仅仅能改变飞机的加速度，而这种加速度的改变要产生最后效果还必须先转为速度的改变，然后再转为位置的改变。此外，一个飞行员在紧张的战斗状态下很难进行任何十分复杂和自如的随意活动，一般总是习惯于按照他所熟练的活动式样动作。

所有这些都使得飞行的曲线预测问题的研究值得进行，不管这个研究的结果会证明实际使用一种带有这种曲线预测的控制装置是有利的还是不利的。预测一条曲线的未来就是对曲线的过去进行某种运算。真正的预测算符不能用任何可以制造的装置来实现。但是却有某些算符能对它作一定的模拟，而且可以用我们所能制造的装置加以实现。我向麻省理工学院的萨美尔·卡德威尔教授建议，认为这些算符是值得试验一番的，他立即建议我们用布希的微分分析机来试验，把它当作我们所需要的火力控制装置的现成模型。我们这样作了，其结果将在这本书的正文里讨论到。无论如何，如果我发现自己已经参加到一个战争的研究题目中来，在这个研究计划里，朱林·别格罗和我合伙，研究着预测理论和实现这个理论的装置的结构问题。

可以看出，我已经是第二次从事研究一种用来代替人类特殊功能的机械电学系统的工作了——第一次是实现复杂的计算，第二次是预测未来，在预测未来的研究中，我们不应该回避讨论怎样来执行某些人类功能的问题。在某些火力控制装置中，的确，开始进行瞄准的第一个脉冲是直接由雷达发出的，但是，更为通常的情

况是，在火力控制系统中有一个高射炮瞄准手或一个高射炮调度手，或者两个人配合起来，他们作为这个控制系统的一个重要部分而动作。了解他们的特性以便从数学上把他们同他们所操纵的机器结合起来，是很重要的。此外，他们的射击目标，即飞机，也是由人来操纵的，我们正是希望知道它的动作特征。

别格罗先生和我得出了这样的结论：随意活动① 中的一个极端重要的因素就是控制工程师们所谓的反馈作用。我将用专门的几章来相当详尽地讨论这个问题。在这里只需说一下，当我们希望按照一个给定的式样来运动的时候，给定的式样和实际完成的运动之间的差异，被用作新的输入来调节这个运动，使之更接近于给定的式样。举一个例，船舶上有一类操舵机，它将驾驶盘的转动；作用到一个与舵柄连结的装置上，通过这个装置调节操舵机的一些气门，使得舵柄朝着把这些气门关闭的方向转动，舵柄这样转动后，就使气门调节装置的另一端回到正中的位置，这样驾驶盘的角位置就再现为舵柄的角位置。显然，任何妨碍舵柄运动的摩擦力或其他阻碍力，都会增加进入某一边气门的蒸气量，而减少进入另一边气门的蒸气量，这样就增加了使得舵柄到达所要求的位置上去的转矩。这样，这个反馈系统就使得操舵机的动作相对地独立于其荷载。

另一方面，在有时间延滞等等的条件下，一个过于粗鲁的反馈会使船舵越位，并且跟着还会有一个来自另一方向的反馈，使船舵越位得更厉害，直到驾驶机构发生强烈的摆动或振动(hunting)以至完全毁坏为止。在麦考尔所写的那类书②里，我们可以找到，关

① 随意活动：生理学上常使用的名词，指经过了大脑皮层反射的、有意识的活动。——汉译者注。

② McColl, L. A., *Fundamental Theory of Servomechanisms*, Van Nostrand, New York, 1946.

于反馈起有利作用和起破坏作用的非常详尽的讨论。反馈现象是一种我们已经从量的方面非常透彻地了解了的现象。

现在，假定我捡起一枝铅笔。为了去捡，我必须运动某些肌肉。除了少数解剖学专家外，我们大家都不知道这是哪些肌肉；而且即使在解剖学家中间，也未必有人能够有意识地用连续地收缩每一条有关的肌肉的办法来实现这一动作。相反地，我们只是要去捡起铅笔。我们一旦决定了这一点，我们的动作就朝着这样的方向进行，粗略地说，就是使表示铅笔尚未被捡起的量逐渐减少，这一部分运动并不完全是有意识的。

要按这样的方式来完成一个动作，必须将有关每一瞬时我们尚未捡起铅笔的量的报道送到神经系统，不论是有意识的或无意识的。如果我们用眼睛看着铅笔，这个报告可能就是视觉的，至少部分是视觉的，但是这种报告更一般地是运动感觉的，或者用流行的术语说，是本体感受的。如果我们失去了本体感受的感觉，而又没有用视觉或者其他的感觉来替代，那么我们就不能够完成捡起铅笔的动作，从而发现自己处在所谓运动失调的状态。这种类型的运动失调在叫做脊髓痨（或称运动性共济失调病）的中枢神经系统梅毒病中，是十分常见的；在这种病中，由脊髓神经来传达的运动感觉或多或少受到损坏。

然而，一个过度的反馈妨碍有组织的活动的严重程度，似乎和一个不足的反馈所造成的一样。别格罗先生和我估计到这种可能性，向罗森勃吕特博士提出了一种特殊的问题。有没有任何一种病理条件，在这种病理条件下，病人在试图去实现像捡铅笔那样的随意动作时，超过了目的物，然后发生了一种不能控制的摆动？罗森勃吕特博士立即回答我们说，确有这样一种大家熟知的情况，它叫做目的震颤，常常因小脑受伤而引起。

这样，我们就找到了一个极端重要的论据来支持我们关于至少是某一些随意活动的性质的假说。应当指出，我们的观点比神经

生理学家们中间流行的观点高明得多。中枢神经系统不再是从感觉接受输入又把它发射给肌肉的一个独立自足的器官。相反地，它的某些最具有特征性的活动，只有把它当作一个从神经系统出发进入肌肉，然后通过感官（不论是本体感受器官或者是特殊感觉器官）再进入神经系统的环形过程，才能理解。这在我们看来，是标志着神经生理学研究中的一个新的阶段，这一部分神经生理学不仅涉及神经和突触的基本过程，而且涉及神经系统作为一个整体的活动。

我们三个人觉得这个新观点值得写成一篇论文，我们就写出来并且发表了①。罗森勃吕特博士和我预见到这篇论文只能够是一个宏大的实验工作计划的开头，我们想，如果我们的建立一个介乎各门科学之间的科学部门的计划得以实现，这个题目就会成为我们研究活动的几乎是理想的中心。

根据通讯工程的知识水平，别格罗先生和我已经清楚地知道，控制工程的问题和通讯工程的问题是不能区分开来的，而且，这些问题的关键并不是环绕着电工技术，而是环绕着更为基本的消息概念，不论这消息是由电的、机械的或是神经的方式传递的。消息是分布在时间上的可量事件的离散的或连续的序列——确切地说，就是统计学家的所谓时间序列。预测一个消息的未来，就是用某种算符去运算这个消息的过去，不管这个算符是由一个数学计算的公式实现的，还是由一个机械装置或电的装置实现的。在这方面，我们发现，我们最初设想的理想的预测机构，遇到了由两类具有对抗性质的误差所引起的困难。我们最初设计的预测装置能够用来预测一个特别光滑的曲线到任何所要求的近似程度，可是，这种精细程度常常是靠提高仪器的灵敏度得来的。这种装置对于光

① Rosenblueth, Wiener & Bigelow, "Behaviour, Purpose & Thleology", *Philosophy of Science*, Vol. 10, pp. 18—24(1943).

滑波越是适用，它越是容易被离开光滑性的微小偏差引起振荡，而等待这种振荡消失所要的时间也就越长。因此，光滑波的良好预测，看来比对粗糙曲线的最优可能预测，要求更精密更灵敏的装置，而每一特殊场合下所用的特定装置的选择，取决于要加以预测的现象的统计性质。这一对相互影响的误差，与海森堡量子力学中的，用海森堡的测不准原理来描述的测量位置与测量动量的矛盾问题，有某些共同之点。

我们一旦清楚地了解到，最优预测问题的解决仅仅取决于要加以预测的时间序列的统计性质，那就不难把在预测理论中原来认为是困难的东西变成为实际解决预测问题的有效工具。设已知一个时间序列的统计性质，我们就能够推导出用某种技术实现的、具有一定时间超前的预测所产生的均方误差的显函表示式。有了这个公式，我们就能把最优预测问题变成为决定一个特殊算符的问题，这个特殊算符要把一个依存于它的特殊正量降到极小值。这类极小化问题属于数学中一个现成的分枝，即变分法，这个分枝有一种现成的技术。借助于这种技术，我们能够得到对已知其统计性质的时间序列的未来预测问题的显函最优解，并且还能进一步用一种可以制造的装置从物理上来实现这个解。

我们一旦做到了这一点，就至少给工程设计上的一个问题开辟了全新的局面。一般地说，工程设计与其说是一门科学，不如说是一种艺术。而把这一类问题归结为极小化原理，我们就把这个部门建立在更为科学的基础上。我们发现，这不是一个孤立的事件，而是涉及工程工作的整个领域，在这个领域里，类似的设计问题可以用变分法来解决。

我们用同样的方法研究和解决了其它类似的问题。滤波器设计问题便是其中之一。我们发现，一个消息常常被我们叫作本底噪声的外来干扰混杂了。于是我们面临着一个问题，这就是要用一个算符作用于被混杂了的消息之上，以恢复成原来的消息，或是恢复

成具有给定超前的消息，或具有给定滞后的消息。这个算符的最优设计，以及用来实现这个算符的装置的最优设计，取决于消息和噪声的分别的和联合的统计性质。这样，我们便在滤波器的设计工作中，把原来具有经验性的甚至有些偶然性的过程，代之以具有透彻的科学判断的过程。

这样一来，我们就把通讯工程变成为一门统计科学，变成为统计力学的一个分枝，一个多世纪以来，统计力学的观念的确在浸入科学的每一分枝。我们将看到，统计力学在现代物理学中的这种优势地位，对于解释时间的本性具有十分生动的意义。在通信工程的场合，统计因素的意义是直接明了的，信息的传递除非作为二中择一的事件的传递，否则是不可能的。如果只有一个偶然事件拿来传递，那么根本不发消息是最有效而最少麻烦的发送方法。电报机和电话机只有在它们所传递的消息以不完全决定于其过去的方式连续变化的时候才能发挥它们的功能，也只有在这些消息的变化符合某种统计规律的时候才能有效地被设计出来。

为了概括通信工程的这个局面，我们必须发展一个关于信息量的统计理论，在这个理论中，单位信息量就是对具有相等概念的二中择一的事物作单一选择时所传递出去的信息。这个思想差不多在同一个时候由好几位科学家提了出来，其中有统计学家 R. A. 费希尔，贝尔电话研究所的申农博士①和作者自己。费希尔研究这个题目的动机来自古典统计理论；申农的动机来自信息编码问题；作者本人的动机则来自电滤波器中的噪声与消息问题。附带

① 见 Shannon, C. E., Weaver, W., "The mathematical theory of communication", The University of Illinois Press, Urbana, 1949. ——汉译者注.

提一提，我在这方面的某些思想，是从苏联的哥尔莫戈洛夫[①]的早期工作得来的，虽然我的工作的相当大的部分是在我注意到这个苏联学派的工作以前完成的。

信息量的概念非常自然地从属于统计力学的一个古典概念——熵。正如一个系统中的信息量是它的组织化程度的度量，一个系统的熵就是它的无组织程度的度量；这一个正好是那一个的负数。这个观点引导我们产生了许多关于热力学第二定律的考虑，引导我们去研究所谓麦克斯威尔妖的可能性问题。这些问题也从关于酶和其他催化剂的研究中独立地产生出来，而关于酶和催化剂的研究主要是为了专门了解有生命的物质的新陈代谢和生殖之类的基本现象。生命的第三种基本现象——应激性则属于通信论的范围，而归入我们刚才讨论过的那一群观念中[②]。

早在四年以前，围绕着罗森勃吕特博士和我的一群科学家就已经认识到有关通信、控制和统计力学的一系列核心问题之间的本质上的统一，不管这些问题是机器中的还是活的机体中的。另一方面，关于这些问题的文献缺乏统一，没有任何共同术语，甚至没有一个称呼这个领域的简单名称等等情况严重地妨碍着我们。经过仔细考虑，我们得到这样的结论：所有现有的术语不是过分偏于这一方面就是过分偏于那一方面，不能符合于这个领域的未来发展；正如科学家们常常碰到的那样，我们被迫至少去创造一个新的希腊术语来填补这个缺口。我们决定把这个关于既是机器中又是动物中的控制和通信理论的整个领域叫作 *Cybernetics*（控制论），这个字我们是从希腊字 κυβερνήτης 或"掌舵人"变来的。在选择这

---

① Колмогоров А. Н., "Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей", ИЗВ. АН СССР, сер. мат., т. 5, стр. 3—14, 1941.

② Schrodinger, Erwin, "What is life?" Cambridge U. Press, Cambridge, Eng., 1945.

个字时，我们是想用它来纪念关于反馈机构的第一篇重要论文，这是麦克斯威尔在1868年[①]发表的一篇关于调速器的文章。而拉丁字调速器(governor)一字是从 κυβερνη'τηζ 讹误引伸而来的。我们也想提到这个事实：船舶的操舵机的确是反馈机构的一种最早而且最发达的形式[②]。

虽然控制论这个名词的产生不早于1947年夏天，我们觉得用它来叙述这个领域发展的较早时期仍然是恰当的。大约在1942年前后，这个学科分别在几条战线上发展。开头，别格罗、罗森勃吕特和维纳合写的论文中的思想由罗森勃吕特博士在1942年在纽约召开的一次会议上加以传播，这个会议是梅氏基金会主办，专门讨论神经系统中枢抑制问题的。参加会议的人中有伊利诺大学医学院的瓦·麦克卡洛博士，他早已同罗森勃吕特博士和我有过接触，他对大脑皮质组织的研究很有兴趣。

在控制论的历史上反复出现过的一个因素，即数理逻辑的影响，这时也参与进来了。假如我必须为控制论从科学史上挑选一位守护神，那就挑选莱布尼茨。莱布尼茨的哲学集中表现在两个密切联系着的概念上——普遍符号论的概念和推理演算的概念。今日的数学记号和符号逻辑即来源于此。正如算术的演算经历了一个由算盘和桌上计算机到今日的快速计算机的机械化过程，莱布尼

---

① Maxwell, J. C., *Proc. Roy. Soc.* (London), 16, 270—283(1868).

② “控制论”(κυβερνη'τικη)一词并不是新词。它在柏拉图的著作中是常见的。在那里它的本义通常是驾船术，操舵术，但是不止一次变义地用于表示管理人的艺术。(见 Gulibaud G. T., “La cybernetique”, Perss Universitaires deFrance, Paris, 1954, pp. 6—7). 1834年，著名法国物理学家安培同样在研究科学分类问题的时候，援古例把管理国家的科学叫控制论。在这个意义下控制论一词编入19世纪许多著名词典中。安培把控制论与“этнодицееЙ(民权的科学)，外交术和“政权论”一起都列为政治科学，而且控制论与政权论构成了他的政治一词的本义。——俄译者注。

茨的推理演算器里就包含着推理机器即理解机的萌芽。诚然,莱布尼茨自己和他的前辈巴斯葛一样,兴趣在于制造计算机。因此,丝毫不必惊讶,推动了数理逻辑发展的同一种智力冲动,同时也推动了思惟过程的理想的或实际的机械化。

一个能够办得到的数学证明,是一个可以用有限数目的符号写出的证明。这些符号,事实上,可能会与无限的概念有关,但是,这种关系是我们可以由有限个步骤加起来得到的;如像数学归纳法的情形,在那里我们证明一个依赖于参数 n 的定理当 $n=0$ 时正确,又证明 $n+1$ 的情况可以从 n 的情况中推导出来,于是就证明了对于 n 的所有正值,定理都是正确的。而且我们的推演过程的运算规则必须在数目上是有限的,即使它们因与无限的概念有关而表面上看来不是有限的,但是当这无限概念本身可以用有限项表示出来时,推演过程的运算规则仍然是有限的。简言之,对于像希尔伯特那样的唯名论者和像威衣尔那样的直觉主义者都同样十分明白:数理逻辑理论的发展要遭遇到限制着计算机工作的同样性质的障碍。以后我们将看到,用这个观点甚至能够来解释康脱和罗素的悖论。

我自己以前是罗素的学生,受了他很大的影响。申农博士在麻省理工学院做的博士论文是关于类的古典布尔代数方法在电工开关系统研究中的应用①。图灵也许是第一个把机器的逻辑可能性作为一种智力实验来研究的人,他在战争时期作为一个电子学家给英国政府服务,现在是德丁顿国立物理研究室的发展新型计算机计划的负责人。

---

① 类的布尔代数——逻辑演算法,因纪念19世纪英国数学家和逻辑学家布尔·热尔德萨而取此名。所提到的申农的研究在 *Trans. AIEE*, Vol. 57, 1938, p. 713 和 *Bell System Tech. J.* 1949, Vol. 28, No. 1, p. 59 的论文中有说明。——俄译者注。

从数理逻辑的领域跑到控制论方面来的另一个年轻的移民是匹茨。他曾经是卡尔纳普在芝加哥的学生，也曾和拉舍甫斯基教授及其生物物理学学派接触。顺便提一提，这个学派在吸收有数学头脑的人注意生物科学的问题方面，很有贡献，虽然在我们某些人看来，他们过于强调能和势的问题，过于相信古典物理学的方法，以为这样就能够在研究像神经系统这样的系统时做出尽可能的最好的工作，而这样的系统远不是能够仅仅从能量上加以说明的。

匹茨先生很幸运受到了麦克卡洛的影响，他们俩很早就开始研究关于由突触把神经纤维联合为浑成一体的系统的问题。他们和申农没有联系，独立地运用了数理逻辑的方法来讨论那些归根结蒂是开关问题的问题。他们增添了一些在申农的早期工作中作用并不显著的因素，虽然他们一定受到了图灵思想的启发，即：用时间作为一个参数，考虑到含有环形的网络，考虑到突触的延迟和其它延迟①。

1943年夏天我遇见了波士顿市立医院的莱特文博士。他对有关神经机制的问题很感兴趣。他是匹茨先生②的密友，他曾使我了解了匹茨的工作。他邀请匹茨先生到波士顿来，并把他介绍给罗森勃吕特博士和我。我们欢迎他参加我们的集体。匹茨先生于1943年秋来到麻省理工学院，目的是为了同我一道工作，也为了打好他在研究控制论这门新科学中的数学基础。这门科学那时已经确然诞生，但还没有受洗礼。

这时，匹茨先生已经充分熟悉了数理逻辑和神经生理学，但不

---

① Turing, A. M., "On Computable Number, with an Application to Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society*, Ser. 2, 42, 230—265(1936)

② McCulloch, W. S. and Pitts, W., "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bull. Math.* Biophys, 5., 115—133(943)

曾有过很多接触工程的机会。特别是，他还不熟悉申农博士的工作，在电子学方面还没有多少经验。当我拿一些现代的真空管给他看，并且给他说明这些真空管正是用来实现他的神经元线路与系统模型的理想方法时，他感到极大的兴趣。从那时起，我们已经清楚地认识到，以替续的开关装置为基础的快速计算机必定会是神经系统中发生的各种问题的几乎合乎理想的模型。神经元兴奋的全或无的性质，完全类似于二进位制中决定数字时的单一选择，这种二进位制我们不只一个人设想过，认为它是计算机设计的最合适的基础。突触无非是这样一种机构，它决定来自别的一些选定元件的输出的特定组合是否将成为足以使下一个元件产生兴奋的刺激，而且这种决定的精确性要类似计算机。解释动物记忆的性质和变化的问题，与机器中的人工记忆的问题也是互相类似的。

这时，计算机的制造已经证明对于战争有很重要的作用，为布希博士始料所不及，制造工作也在好几个中心沿着与我早先的报告所指出的相差无几的路线在进展。哈佛、亚伯丁试射场和宾夕法尼亚大学已经在制造机器，普林斯顿高级研究所和麻省理工学院不久也进入同一个领域。在这个过程中，有一个从机械结构到电结构，从十进位到二进位，从机械替续器到继电器，从由人指导运算到自动指导运算的逐渐的进步；总之，每一个新的机器都比以前的机器更加证明了我送给布希博士的备忘录的正确性。在这方面有兴趣的人们经常来往。我们得到了和同事们交流思想的机会，特别是同哈佛大学的艾肯博士，高级研究所的冯·诺意曼博士，宾夕法

尼亚大学研究ENIAC[①]和EDVAC[②]计算机的戈德斯汀博士。只要我们碰在一起，我们就互相细心倾听，不久工程师们的辞汇中就渗进了神经生理学家和生理学家的专门名词。

到了进程的这个阶段，冯·诺意曼博士和我都感到需要召开一次所有对于我们现在叫作控制论的这门科学感到兴趣的人全都参加的会议，这个会在1943—1944年之间的冬末在普林斯顿召开了。工程师们、生理学家们和数学家们全都有代表参加。罗森勃吕特博士没有可能来参加，因为他刚刚接受了聘请，去领导墨西哥国立心脏学研究所的生理研究室，但是麦克卡洛博士和洛克非勒研究所的罗浪特博士代表了生理学家。艾肯博士也不能来参加；可是，戈德斯汀博士是到会的几位计算机设计者之一，而冯·诺意曼博士、匹茨先生和我则是数学家。生理学家们从他们的观点对控制论问题提出了集体意见，同样地，计算机设计者们也提出了他们的方法和目标。会议后期，大家都明白到，在不同领域的工作者之间的确存在着一个实在的共同思想基础，每一个集体中的人都可以运用已经由别人发展得更为成熟的概念，必须采取一些步骤来获得共同的辞汇。

在相当久以前，瓦伦·魏维尔博士领导的战争研究团体发表了一个文件，这个文件起初是秘密的，后来是半公开的，它包括了别格罗先生和我关于预测器和滤波器的工作[③]。我们发现对于现

① ENIAC——Electronic Numerical Integrator and Automatic Calculator，即电子数学积分器和自动计算器。这是美国第一架电子计算机，战争期间由费拉德尔非亚的宾夕法尼亚大学为美军军械局制造的。1946年2月作了第一次公开表演，以后由在梅里林德的亚伯丁试射场弹道实验室使用。——俄译者注。

② EDVAC——Electronic Discrete Variable Automatic Computer，即离散变数的电子自动计算机，这是宾夕法尼亚大学建造的第二架电子计算机；是由梅里林德的亚伯丁试射场弹道实验室颁订的。——俄译者注

③ 维纳在另一书中提到，这份军事报告是1942年2月公布的。——俄译者注。

有的防空火力的条件，曲线预测的特殊装置的设计并没有被证明是优越的，但是其原理却被证明是正确的和实用的，并且被政府用于解决平滑化和与之有关的若干领域的问题。特别是，从我们所研究的变分法问题归结出来的这类积分方程，也出现在波导问题和其它应用数学方面看来有兴趣的问题之中。于是，到了战争结束时预测理论的观念和通讯工程统计处理的观念已经为美国和英国的大部统计学家和通讯工程师所熟悉了。人们也注意到了那份政府文件(现在已经绝版)，以及列文生、华尔曼、丹尼尔、菲力浦斯和其他等人为了填补这个空白所写[①]的相当数量的说明性文章。我自己还有一篇写了几年的数学方面的说明性的长文，把我所完成的工作永久地记载下来。但是由于一些并不完全由我控制的情况，这篇文章未能迅速出版。直到最后，美国数学会和数理统计研究所1947年春在纽约召开了一次联席会议，专门从一种密切接近控制论的观点来研究随机过程，我才把这个已写成的手稿交给伊利诺艾斯大学的杜瀚教授，换用了他的符号，并根据他的意见列为美国数学会的数学概览丛书之一[②]。我已经把我的一部分工作在麻省理工学院数学系1945年夏的一个讲座课程上宣读过。以后，我从前的学生和同事李郁荣博士[③]从中国回来了。1947年秋他在麻省理工学院电工系开了一门关于滤波器及其类似装置的新设计方法的课程，并且计划把这些讲授材料整理成一本书。与此同时，那份

---

① Levinson, N., *J. Math. and Physics*, 25, 261—278; 26, 110—119(1947).

② 后来编入杜瀚所写的"随机过程"一书中(Doob J. L., "Stochastic Processes". Wiley-Chapman & Hall, New York-London, 1953. 有俄译本：Дуб Дж.Л., Вероятностные процессы, М., ИЛ, 1956). 在该书序言中杜瀚指出有关线性预测的第十二章是在维纳的帮助下写成的。——俄译者注。

③ Lee Y. W. (李郁荣), *J. Math. and Physics*, 11, 261—278(1932)。

绝版的政府文件又重印了①。

我已经说过，罗森勃吕特博士大约在 1944 年初回到墨西哥。1945 年春，我接到墨西哥数学会要我参加那年 6 月在瓜达拉哈拉召开的一次会议的邀请。这次邀请是得到科学研究鼓励和协调委员会的赞同的。这个机构的主持人便是我前面提到过的瓦拉尔塔先生。罗森勃吕特博士邀请我去共同进行一些研究工作。国立心脏学研究所及其所长夏伟士博士盛情地款待了我。

我那时在墨西哥逗留了约 10 个星期。罗森勃吕特博士和我决定继续研究我们曾经和瓦尔特·B·堪农博士讨论过的那条研究线索。堪农有一次在访问罗森勃吕特的时候，和他谈到过这个问题。可惜，那是一次最后的会晤。这件工作牵涉到癫痫的强直性收缩、阵挛性收缩和时相性收缩与心脏的强直性痉挛、搏动和纤维性颤动之间的关系。我们觉得心肌组织是一种应激性组织，它和神经组织一样，是可以用来研究传导机制的，不仅如此，心肌纤维的吻合与交叉较之神经突触问题是一种比较简单的现象。我们也深深感谢夏伟士博士的无条件厚待；虽然这个研究所从来没有限制罗森勃吕特博士只能研究心脏的规定，我们还是乐意能有机会来为这个所的主要任务效劳。

我们的研究采取了两个方向：二维或多维均匀传导介质中的传导性与潜藏性现象的研究和传导纤维的混乱不定网络的传导性质的统计研究。前者引导我们得到心脏扑动的初步理论，后者导致对纤维性颤动的某种可能的理解。我们把这两个方向的工作写成

---

① Wiener, N., Extrapolation, Interpolation, and Smoothing, of Stationary Time Series, Technology Press and Wiley, New York, 1949.

了一篇论文并且发表了①，虽然在这两个方面，我们的最初结果还需要再作大量的校正与补充。关于扑动的工作由麻省理工学院的塞尔弗烈兹先生继续做下去，而心肌网络中所用的统计技术也被匹茨先生推广到处理神经元网络的问题，匹茨这时已经是领取古根海姆基金会的奖学金的研究生。实验工作由罗森勃吕特博士在国立心脏学研究所和墨西哥陆军医学院的拉莫司博士的协助下继续进行。

在墨西哥数学会的瓜达拉哈拉会议上，罗森勃吕特博士和我报告了我们的一些研究结果。我们已经得到这样的结论：我们早先的合作计划已经证明是实际可行的。我们十分幸运能有机会把我们的结果报告给这样多的听众。1946 年春天，麦克卡洛博士与梅氏基金会商定在纽约首次召开一系列专门讨论反馈问题的会议。这些会议按照传统的方式召开，是由弗莱蒙·司密斯博士极为有效地加以筹划的，他代表基金会来组织这些会议。会议集合了一个规模适度的（不超过 20 人）在各个有关领域中的工作者的集体，他们一连两天在一起，一天到晚就是非正式地宣读论文、讨论、吃饭，毫不停歇，直到他们消除了相互的分歧，并且能够更好地顺着同一路线去思索为止。会议的核心就是 1944 年在普林斯顿聚会过的那个集体，但是麦克卡洛和弗莱蒙·司密斯博士正确地看到了这个主题在心理学和社会学方面的运用，因此又邀请了一些著名的心理学家、社会学家和人类学家参加到这个集体中来。把心理学家吸收进来的必要性，从一开头便很明显了。研究神经系统的人不能忘记心理，研究心理的人也不能忘记神经系统。过去大多数心理学实际上不过是特殊感觉器官的生理学，控制论引到心理学中去的观

① Winer, N., Rosenblueth, A., "The Mathematical Formulation of the Problem of Conduction of Impulses in a Network of connected Excitable Elements, Specially in Cardinc Muscle", *Arch. Inst. Cardiol Mex.*, 16; 205; 265(1946)。

念全都是牵涉到与这些特殊感觉器官相联系的高度特殊化的皮质区域的生理学和解剖学的。从一开始起，我们就预料到，对于格式塔①的感知的问题，也就是关于完形感知的形成问题，将会被证明是属于这种性质的。我们把一个方形认作方形，不管它的位置、大小和指向，其机制是怎样的呢？芝加哥大学的克吕弗教授，已故的麻省理工学院的莱文博士和纽约的爱立克逊博士这些心理学家帮助了我们来研究这些问题，也把我们的概念对心理学有些什么用处和帮助告诉了心理学家。

至于说到社会学和人类学，十分明显，信息和通讯作为组织化机制不但对于个体是重要的而且对于集体也是重要的。对于像蚂蚁这样的社会团体，如果对他们的通讯方法没有透彻的研究，是完全不可能理解的。我们很幸运，在这方面得到了希尔达博士的帮助。关于人类组织的类似问题，我们从人类学家柏特逊和米德博士那里得到了帮助；而高级研究所的摩根希吞博士则是我们在属于经济理论的社会组织这个重要领域中的顾问。顺便说一说，他和冯·诺意曼合写的关于博奕论的非常重要的著作是用同控制论的主题密切有关但又有区别的方法的观点来研究社会组织的一部非常有趣的著作②。莱文博士等的新的研究工作是关于舆论分析的理论和关于制造舆论的实践问题，诺斯洛普博士则对阐明我们的工作的哲学意义感到兴趣。

这还不是我们这个集体的全部名单。我们还把这个集体扩大到包括更多的工程师和数学家如别格罗和沙威其，更多的神经解剖学家和神经生理学家如冯·波宁和诺意特。我们在 1946 年春天

---

① 格式塔(Gestalt)——完形，所谓“完形心理学”的专门名词。——俄译者注。

② 指的是冯·诺意曼，摩根希吞的“博奕论和经济行为”一书(Von Neumann J., Morgenstern O. “Theory of Games and Economic Behaviour”, Princeton University Press, 1943(1st ed.); 1947(2nd ed.). ——俄译者注。

召开的第一次会议上所讲的内容，主要包括参加普林斯顿会议的人宣读的启发性的论文，以及所有到会的人对于这个领域的重要性的一般评价。会议感到，控制论所包含的思想对于与会的人十分重要和有趣，值得以后每隔 6 个月就继续举行一次；而在举行下一次全体会议之前，应该为那些数学训练较少的人开一次小会，用尽可能简明的语言向他们阐明有关的数学概念的性质。

1946 年夏天，我回到墨西哥，在洛克菲勒基金会的支持和国立心脏学研究所的款待下，继续进行罗森勃吕特博士和我的共同工作。这次我们决定选取一个直接涉及反馈主题的神经问题，看看我们到底能从实验方面做些什么。我们选定猫作实验动物，选定股四头肌作为进行研究的肌肉。我们切断肌附着，把肌肉固定到一个已知张力的杠杆上，然后记录其等长或等张收缩。我们又用了一个示波器来记录肌肉自身中同时发生的电变化。我们主要用猫作实验，先在醚麻醉下截除大脑，然后作脊髓的胸部横切。在许多情况下，还使用了马钱子素以加强反射反应。我们使肌肉载荷到这样的程度，这时，一次轻叩就会使它进入周期性收缩，这在生理学家的语汇中叫作**阵挛**。我们观察了收缩的式样，注意到了猫的生理条件，肌肉上的载荷，振动的频率，引起振动的基本能级及其振幅。我们试图像分析一个表现出同一振动式样的力学或电学系统那样来分析上述系统。我们运用了，例如，麦考尔讨论伺服系统一书上的方法。这里不是讨论我们的结果的充分意义的地方，这些结果我们正在重作并准备写出来发表。无论如何，下面的说法或是已经成立或者是非常可能成立的：阵挛性振动的频率对于载荷条件的改变，远不如我们所设想的那样灵敏；它几乎完全是由传出神经—肌肉—运动终体—传入神经—中枢突触—传出神经的封闭弧的常数所决定，而不是由其它东西决定的。如果我们把传出神经每秒传送的冲动数作为线性的底，那么，这个线路甚至从一级近似来说也不是一个线性运算器的线路，但是如果我们用冲动数的对数作底，那么

这个线路就很接近于线性运算器的线路了。这与传出神经刺激的包络线的形状并不近乎正弦波形，而这个曲线的对数却相当近乎正弦波形的事实是相符的；而在具有恒定能级的线性振动系统中，刺激曲线的形状除了那些几率为零的情况以外，都必须是正弦波形的。此外，兴奋和抑制的概念，在性质上更接近于乘法而不是加法。例如，一个完全的抑制等于乘上零，部分的抑制等于乘上一个小量。兴奋与抑制的概念已经用到讨论反射弧上去了①。更有意思的是，突触是一个符合记录器，只有在一个很小的总合时间内传入冲动数目超过某一定阈时传出纤维才能被激发。如果这个阈和传入冲动② 的总数比较起来足够低的话，那么突触机构就起乘上一个几率的作用，因而它只有在一个对数系统里才可能近似地成为一线性的元件。突触机构的这种近似的对数性质肯定是与魏勃-费希纳的感觉强度定理的近似对数性质有联系的，虽然这个定理仅仅是第一级的近似。

最重要之点在于，以对数为底。根据从单个冲动通过神经肌肉弧的各个元件的传导中得到的数据，我们就能够用伺服工程中求一稳定状态被破坏的反馈系统的搜索振动的频率的方法，得出关于阵挛振动的实际周期的很好的近似结果。我们得到每秒约 13.9 次的理论振动值，而观察到的振动频率，变化于 7 到 30 之间，不过一般的变化是保持在 12 到 17 之间的范围内。在此情况下，这种符合是很不错的。

阵挛的频率并不是我们可以观察的唯一重要现象；基础张力还有相对缓慢的变化，而振幅也有更为缓慢的变化。这些现象肯定

---

① 墨西哥国立心脏学研究所的关于阵挛的未发表的论文。

② 原文为传入突触（incoming synapse），俄译本改为传入信号（входных сигналов），看来原文可能有误，为与前句连接改译为"传入冲动"——汉译者注。

地决不是线性的。虽然如此，如果线性振动系统的常数变化得足够缓慢，那末，作为第一级近似，就可以假定常数的变化是无限地缓慢的，而这样在系统振动的每一段时间内，都可以把系统的运动看作是参数不变的线性振动系统的运动。这就是在物理学其它分枝中叫作久期微扰的方法。这个方法可以用来研究阵挛的基本能级和振幅的问题。这件工作现在虽然还没有完成，但已经清楚地看出，这个方法既是可能的也是有希望的。还有这样一个强烈的启发：虽然在阵挛时主弧也同步地在动作，因而证明主弧是一个二神经元的弧，这个弧上冲动的增强在一点也许在更多点上仍然是可变的。还有，这种增强的某部分可以为缓慢的多神经元过程所影响，这些过程发生在中枢神经系统中，而中枢神经系统较之对阵挛作首先的同步反应的脊髓连锁说来，是处在更高的地位。这种可变的增强可以受中枢一般程度的活动的影响，受马钱子素或麻醉剂的使用的影响，受去除大脑以及其它许多原因的影响。

罗森勃吕特和我把这些主要研究成果带到了 1946 年秋梅氏基金会主办的会议上以及同时由纽约科学院召开的为了向更多的人宣传控制论观念的一次会议上去。虽然我们为自己的成果感到高兴，并且深信顺着这个方向进行的工作一般是可以实行的，可是我们仍然感到共同工作的时间过于短促，感到我们的工作是在急于发表的过大的压力下完成的，没有作进一步的实验证实。1947 年的夏天和秋天，我们着手寻求这样的证实——它自然可能近乎一种反驳。

洛克菲勒基金会早已应允罗森勃吕特博士给他在国立心脏研究所装备一座新的实验室。我们感到现在时机已经成熟，应该联名向负责物理科学部的魏维尔博士和负责医学科学部的莫利森博士请求为我们建立长时间科学合作的基础，以便用更加从容和良好的步伐来实现我们的计划。我们各人的工作机关对这件事都给予了热情的支持。在谈判时麻省理工学院理科部主任哈利逊博士是

理工学院方面的首席代表,夏伟上博上则代表国立心脏学研究所。在谈判中确定,联合活动的实验中心应当在心脏学研究所。这是为了避免实验设备的重复,也是为了照顾洛克菲勒基金会在拉丁美洲建立科学中心的强烈愿望。最后定下的计划为期5年,这5年中我每隔一年应当到心脏所去6个月,而罗森勃吕特博士则应在另外的那些年里到理工学院来6个月。在心脏所的6个月用来获得和解释有关控制论的实验数据,而其余年份则用来作更带理论性的研究,特别是给愿意进入这个新的领域的人制订一个训练大纲,这是一个非常困难的问题,因为这个训练大纲,一方面要使他们能够获得必要的关于数学、物理学和工程学的基础,另一方面又要获得生物学、心理学和医学技术的专门知识。

1947年春麦克卡洛博士和匹茨先生做了一件在控制论方面有很大意义的工作。麦克卡洛博士接受了设计一种帮助盲人用耳代目阅读印刷品的装置的任务。通过光电池的作用来产生各种音调,这类方法是早已有历史的了,这可以用无数方法来实现;困难之点在于要使得只要给出文字的式样,不管文字的大小多么不同,声音的式样却要是一样的,这与形状的知觉,格式塔的知觉的问题十分类似,形状的知觉使人把方形认作方形,不管方形的大小和所朝的方向有多大变化。麦克卡洛博士的机器包括一个对不同大小的印刷字体的选择诵读器。这种选择诵读可以作为一个扫描过程来自动实现。这种扫描能够把一个形象和另一个大小与它不同的标准形象作比较,这就是我在梅氏基金会召开的一次会议上提到过的一种装置。这个选择诵读器的装置图引起了冯·波宁博士的注意,他立刻问道:"这是不是一张大脑视觉皮质第四层的图?"受到这个启发后,麦克卡洛博士在匹茨先生的帮助下创造了一个把视觉皮质的解剖学和生理学联系起来的学说。在这个学说中,经过一组变换的扫描的动作,起了重要的作用。这个成果在1947年春天梅氏基金会召开的会议和纽约科学院的会议上报告了。最后,这

个扫描过程有一个特定的周期时间，它相当于普通电视中的所谓“扫描时间”。关于根据运转一周所必需的相连突触的长度来判断这个周期时间，存在有各种解剖学上的解释。这些解释得出了动作一周所需的完全运转的时间，其数量级约为1/10秒，而这接近于大脑的所谓“α律”的周期。最近，根据其它证据，我们已经推测到α律视觉产生的根源，在形状知觉过程中很为重要。

1947年春天，我接到邀请要我参加在法国南锡举行的讨论调和分析问题的数学会议。我接受了邀请。往返途中，我在英国停留了总共3个星期的时间，主要是作为我的老友海登教授的客人。我得到了一个极好的机会去会晤许多研究快速计算机的人，特别是在曼彻斯特和在德丁顿国立物理研究室工作的人，更重要的是和德丁顿的图灵讨论了控制论的基本思想。我也拜访了剑桥的心理研究室，得到了一个很好的机会来讨论巴特拉脱教授及其同事们正在进行的关于牵连到人的控制过程中，人的因素的研究工作。我发觉，对于控制论的兴趣，在英国和在美国一样，也是很大而且很有素养的，他们在工程方面的工作做得很出色，虽然不免受到经费较少的限制。我发现人们对于控制论在各个方面的可能性有着很大兴趣和了解，海登、勒维和贝尔纳教授认为它是科学和科学的哲学的日程上最紧急的问题。可是在统一目标和把各种研究线索联成一气方面，我却没有看到很多的进展，不像我们在美国做到的那样。

法国南锡的关于调和分析的会议包括了许多篇把统计观念和从通讯工程中来的观念联系起来的论文，联系的方式与控制论的观点完全一致。这里我必须特别提出勃兰·拉皮尔和劳埃维的名字。我也看到了数学家、生理学家和物理化学家对于这门学科的浓厚兴趣，特别是关于其热力学的方面，因为这些方面涉及生命自身性质的更一般的问题。在我动身以前，我曾经在波士顿和一位匈牙利生物化学家生特·乔治教授讨论过这个问题，并且发现他的观

念和我一致。

我在法国逗留期间，有一个黄昏特别值得在这里提一提，我的麻省理工学院的同事山特兰纳教授把我介绍给赫曼书店的弗里曼，他要求出版我这本书。我特别高兴接受他的约请，因为弗里曼是一个墨西哥人，而这本书的写作以及促成写这本书的大部分研究，都是在墨西哥进行的。

我已经提到，梅氏基金会主办的会议上提出的许多观念隐隐指出了一个工作方向，即是关于社会系统中的通讯概念和通讯技术的重要性。毫无疑问，社会系统是一个像个体那样的组织，它是由一个通讯系统联结在一起的，它也有它的动力学，其中具有反馈性质的循环过程起着重要的作用。在人类学和社会学的一般领域中是如此，在更专门的经济学领域中也是如此；我提到过的冯·诺意曼和摩根希吞关于博奕论的十分重要的工作，便进入了这个思想领域。在这个基础上，贝德逊和米德两位博士考虑到现在这个混乱时代里社会和经济问题的急迫性，曾经怂恿我用大部分精力去讨论控制论的这一个侧面。

虽然我十分同情他们对于目前局势的迫切性的看法，虽然我十分希望他们和其他有资格的人士来研究这类我将在这本书最末一章讨论到的问题①，但我仍然既不能同意他们认为我应该首先注意这个领域的看法，也不能同意他们认为在这方面能够获得相当进展从而对目前的社会病症能够产生多少治疗效果的看法。首先，这是因为影响社会的主要的量并不都是统计的量，就是那些统计的量，它们所凭借的统计游程也过于短暂。把柏塞麦炼钢法使用

① 维纳在"人应该像人那样来使用，控制论与社会"一书中也谈到这个问题。(Wiener N.，"The Human Use of Human Beings，Cybernetics and Society"，Eyre and Spottiswood，London，Ist ed. 1950；2nd ed. 1954. 有俄译本：Винер Н.，"Кибернетика и общество"，М. ИЛ. 1958)——俄译者注。

以前和以后的钢铁工业的经济学总括在一起是没有多大用处的，把产生汽车工业和马来亚人工种植三叶胶以前和以后的橡胶生产的统计加以比较也是如此。把发明六〇六以前和以后两个时期的性病事件统计在一张表里，也没有任何重要用处，除非用来研究这种药物的效力。要得到一个有用的社会统计，就需要处于基本上稳定的条件下的长久的统计游程，正如精密的光学鉴别需要有大孔径的透镜一样。透镜的有效孔径并不因其名义上的孔径的增大而相应地增大，除非透镜是由非常均匀的材料作成，能使光在透镜不同部分中的延迟与原来设计的理论值不符合的程度比一个波长的一小部分还要小。同样，在变化很多的条件下的长久统计游程的益处是有名无实的。因此，人文科学并不是这种新数学技术的很好的试验场所；正如我们将气体统计力学用来研究一个分子大小的事物那样不好，因为我们从大处着眼而加以忽略的涨落，这时却成为最重要的事情了。而且，在缺乏可靠的标准的计算技术的情况下，对于各种社会学、人类学和经济学的量的估计，行家的判断因素是如此重要，以至一个还没有大量经验尚未成为行家的新手简直毫无用武之地。顺便我还要提到，小样品理论的现代工具，一旦越出了只由它自身的特定参数的所决定的范围，而变成为一个新情况下的真正的统计推论时，就不能使我对它有任何信赖，除非它是由这样一个统计学家来运用，他能够清楚地了解到情况的动力学上的主要因素，或者隐约地感到它。

我上面讲到了这样一个领域，在这个领域里，由于了解到我们希望得到的数据不能充分得到，所以我们对控制论的期望肯定地受到了抑制。另外还有两个领域，我极其希望能够借助于控制论的概念获得某些实际的成果，但这个希望的实现还有待于将来的发展，其中之一是断掉的或瘫痪了的肢体的修复术。我们在讨论格式塔时已经看到，通讯工程的观念已被麦克卡洛用来研究失去的感觉的替代问题，即制造一种能够帮助盲人用听觉来读书的工具的

问题。在这里，麦克卡洛建议的工具不仅能十分明显地代替眼睛的某些功能，而且还能代替视觉皮质的某些功能。在人造肢体方面，也有着获得某些类似成果的明显的可能性。一段肢体的丧失，不仅意味着失去这段肢体对身体的纯粹被动的支持，或者说，失去它作为残肢的机械延伸的价值，以及失去了这段肢体上的肌肉的收缩力，而且也意味着失去了来自这段肢体的皮肤感觉和运动感觉。前两种损失正是现在人造肢体制造者所企图弥补的，后一种损失则远在他们考虑的范围之外。如果是简单的假足，这些感觉并不重要：代替失去肢体的那根棍子本身不能作任何自由动作，残体的运动机构完全足以报告它自己的位置和速度。但病人靠残留的筋肉作用举起一只带有活动膝头和踝骨的假肢向前走时，情况就不同了。他得不到关于肢体位置和运动的足够的报告，这就影响了他在不规则地面上行走时步伐的准确性。看来，给人造脚的骨关节和脚底装上应力计或压力计并没有任何不可克服的困难，这种仪表可用电的方法或其他方法，例如用振动器，把结果记录在完好的皮肤上。现在的人造肢体消除了由截除而来的某些瘫痪，但由运动失调而来的瘫痪则未能消除。如果使用了专门的感受器，则这种运动失调的大部分将同样消失，病人将能学会我们大家在开车时使用的那些反射，他也能用更为准确的步伐行走。我们谈的关于下肢的一切，对于上肢也都能适用，甚至更为适用。神经学书籍读者们全都熟悉的人体模型表明，单独截除拇指所引起的感觉丧失，甚至比截除体关节所引起的感觉丧失要大得多。

我已经设法把这些考虑报告给有关当局，但迄今为止在这方面我还不能获得很多成果。我不知道是不是这些想法已从别的来源提出过，或者人们已经试验过这种想法并发现在技术上是不能实现。如果人们还没有得到一个真正实际可行的结果，他们在不久的将来就会得到的。

现在我们来讨论我相信值得注意的另一点。很久以来我就明

白，现代超速计算机在原理上是自动控制装置的理想的中枢神经系统；并且它的输入和输出不是必需采取数字的图样的形式，也可以分别利用像光电池和温度计这样的人造感觉器官的读数，以及马达或螺线管的运动情况。利用应力计或类似的仪器读出这些运动器官的运动情况，并把它当作人造的运动感觉去报告，去"反馈"给中枢控制系统，这样我们就能够制造出具有几乎是任何精巧程度的性能的人工机器了。在长崎事件和社会公众知道原子弹以前很久，我就认识到我们已面临着一个在为善和作恶两方面都有空前重要性的社会力量。自动工厂、无人管理的装配线已经在望，它的实现只是决定于我们是否愿意使用如同在第二次世界大战中发展雷达技术时所花费过的那样大的力量。[①]

我已经说过，这个新的发展对于为善与作恶，都有无穷的可能性。例如，只说一件事，它使得巴特勒[②]所幻想的机器的暗中统治成为最直接、最明显的问题。它给人类以许多新的极为有效的机器奴隶来进行人类的劳动。这种机器劳动最具有奴隶劳动的经济性质，虽然与奴隶劳动不同，它并不包含直接的人身虐待的恶劣后果。可是，任何劳动，只要接受了与奴隶劳动竞争的条件，也就是接受了奴隶劳动的条件，它在本质上就是奴隶劳动。这句话的关键字眼是竞争，由于使用机器而免除了繁重的不愉快的工作的需要，这也许是一件好事，也许不是，我不知道。我们不能用市场上的术语，根据所节约的金钱便断定这些新的潜力是好的；这完全是所谓"第五自由"的公开市场的术语，它已经成为由美国制造商协会和星期

① Fortune，32，139—147(October)；163—169(November，1945)。

② 19世纪英国作家，"爱理翁"(Erewhon)和"重理爱理翁"(Erewhon Revisited)两书的作者巴特勒曾提及此，在他的书中描写一虚构的爱理翁国家，因为机器害多于利而废除了机器。见 мортон А. Л.，"英国的乌托邦"("Английская утопия". М. ИЛ. 1956，гл. V，§ 3)——俄译者注。

六晚邮报所代表的那部分美国舆论的国籍鉴别语。我说美国舆论，因为作为一个美国人，我最了解它，但是商人是不承认国界的。

也许我可以澄清一下目前局势的历史背景。如果我说，第一次工业革命是革“阴暗的魔鬼的磨房”[1]的命，是人手由于和机器竞争而贬值；如果使用铲和镐的美国掘土工同一台也可以算作掘土工的汽铲竞争，他的工资将低至无可再低，以致不能活下去；那末现在的工业革命便在于人脑的贬值，至少人脑所起的较简单的较具有常规性质的判断作用将要贬值。当然，正如第一次工业革命在某种程度上留下了熟练的木匠，熟练的机器匠，熟练的成衣匠一样，第二次工业革命也会留下熟练科学家和熟练的行政人员。然而假如第二次工业革命已经完成，具有中等学术能力水平或更差一些的人将会没有任何值得别人花钱来买的可以出卖的东西了。

答案自然是要求建立一个以人的价值为基础而不是以买卖为基础的社会。要达到这个社会，我们还需要大量的筹谋和奋斗。如果万事如意，那自然合乎理想，否则，谁知道呢？因此，我感到有责任把我对于这个局势的知识和理解告诉积极关心劳动的条件和前途的那些人——即告诉劳工联合会。

我曾经和产业组织协会的一两个高级人士接触过，他们非常明智而关注地倾听了我的意见。但是无论是我或者他们中的任何个人都不能进一步有所作为。根据他们的意见（这意见和我先前在美国和英国观察和了解的相同）：劳工联合会和劳工运动掌握在一群有很大局限性的人们手中，他们在行会小组活动和工资与工作条件争论的专门问题方面有极好的训练，但完全无能参与更大的政治、技术、社会和经济的问题，而这些问题正是牵涉到劳工本身

[1] 此句出自英国艺术家和诗人布列依卡的诗，布列依卡是19世纪初工业革命时的人，他在自己的乌托邦著作中指责工业革命的各种缺点（见 Мортон А. Л. “英国的乌托邦”гл，V，§1）——俄译者注。

的存在的。造成这种情况的理由很容易看出来：劳工联合会的干部一般都是从紧张的工人生活走到紧张的行政人员生活，没有任何机会获得更广泛的训练；而对于有过这种训练的人，工会生涯一般又不是很有引诱力的；而且很自然，这样的人，工会也不是乐意接受的。

我们这些对于控制论这个新的科学有所贡献的人，因此都处在一个道义的位置上，这个位置，至少是不很安适的。我们促进了一个新的科学的发轫，这门新科学，我已经说过，包含着这样的技术发展，它具有为善和作恶的巨大可能性。我们只能把它交给我们在其中生存的这个世界，而这就是德国贝尔森集中营和广岛的世界。我们甚至无法制止这些新技术的发展。它们属于这个时代。我们中间任何人所能做的最高限度，是制止把这方面的发展交到那些最不负责任和最唯利是图的工程师的手中去。我们最多只能指望广大公众了解目前这项工作的趋势与方向，把我们个人的努力限制在诸如生理学和心理学这样的远离战争和剥削的领域里。我们已经看到，有这样的一些人，他们希望，从控制论得到的对人和社会的更深刻的理解的这一好处，将能预料并胜过控制论对权力集中方面所起的偶然的作用(权力，由于其存在条件本身，常常集中在最鲁莽的人的手中)。我是在 1947 年写这些话的，我不得不说，这是一个非常微小的希望。

作者在这里表示他对匹茨先生、塞尔弗烈兹先生、杜伯先生和韦伯斯特先生的感谢，感谢他们替我校正手稿和准备付印的材料。

于国立心脏学研究所

墨西哥 Ciudad 1947 年 11 月

第 一 章

牛顿时间和柏格森时间

有一首德国儿童都很熟悉的短歌，歌词如下：

“Weisst du, wieviel Sternlein stehen
An dem blauen Himmelszelt?
Weisst, du, wieviel Wolken gehen
Weithin über alle Welt?
Gott der Herr hat sie gezüklet
Dass ihm auch nicht eines fehlet
An der ganzen, grossen Zahi”.

W. Hey

这首短歌的意思是：“你知道有多少星星位在蓝色的天空？你知道有多少云朵飘浮过大地？上帝对它们作过清点，数字虽然巨大，可是一无遗漏。”

这首短歌对于哲学家和科学史家是一个有趣的论题。歌词里并举了天文和气象两门科学：它们的共同点，就是同样都以我们头上的天空作为研究的对象；但除此以外，它们在任何方面都是极其不同的。天文学是最古老的科学，而气象学却是那些刚刚够格的最年青的科学之一。多少世纪以来，人们就能够预测比较常见的天文现象；但是，要精确地预测明天的天气，一般是不容易的，许多地方的确做得非常粗糙。

回头来看这首短歌。对于歌中提出的第一个问题，答案是：在

一定条件下，我们就能够知道星体的数目。这首先因为，除了若干双星和变星稍微具有不确定性外，每颗星都是一个确定的对象，极其便于计算和编目。如果人制的星表(Durchmusterung)——我们这样地来称呼星的目录——没有把某一等级以下的星体包括在星表里的话，那末，在神的灵智中收录的星星一定要多得多，这样的观念对我们说来并不算是太荒诞的。

但是，如果你请气象学家给你一个类似的云表，那他会当面笑话你，或者向你耐心解释说：在气象学的全部语汇中，根本找不到似乎永远就是那样一朵的那种云朵；即便有的话，他既没有办法计算，也没有计算的兴趣。一个有拓扑学偏好的气象学家，也许会把一朵云定义为空间的某种连通区域，在这个区域中，处在固态或液态的水，其容量密度超过了一定值。然而，这个定义对任何人都没有用处，它至多描写了一个极端短暂的状态。气象学家真正关心的是这样一类的统计资料："波士顿，1950 年 1 月 17 日，云量 38%，卷积云"。

诚然，天文学中有一个被称做宇宙气象学的分支，像詹都拉什卡尔(Chandrasekhar)所研究的是银河系、星云、星团和它们的统计规律；但是这个分支在天文学中非常年青，比气象学自身还要年青，而且是某种不合乎古典天文学传统的东西。古典天文学，按照传统，除了纯粹分类和编制星表这些工作外，着重研究太阳系，而不是恒星世界。它是太阳系的天文学，它主要是同哥白尼、开卜勒、伽里略、牛顿等人的名字联在一起的。近代物理学是由它哺养长大的。

这实在是一门合乎理想的单纯的科学。在任何一种动力学理论出现以前，甚至远溯到巴比伦时代，人们就已经知道，在过去和未来若干年代中日蚀都是在可预测的周期中出现的。人们还发现，根据星体的运动可以比任何其它方法更好地测定时间。太阳系中发生的一切事件的模型，都像是一个轮子或几个轮子在转动，这不

论是在托勒密的本轮说中，或是哥白尼的轨道说中都是如此，而且在这些学说的任何一种中，未来总是以某种形式重复着过去。天体的音乐是一种巴林觉密(palindrome)①，天文历书顺读和倒读都是一样的。除了初始位置和方向外，顺转和逆转的两个太阳仪之间的运动没有任何差别。最后，当这一切被牛顿归结为一组抽象的公设并推演出一门严格的力学的时候，这种力学的基本定律不因时间变数 t 变为它的负数而改变。

因此，假如把一部行星运动的电影片的放映速度加快，使得我们可以感觉到行星的运动，同时倒转过来放映，那末它还是符合于牛顿力学的一种可能的行星运动状态。但是，假如把一部关于雷暴云中云乱流的电影片倒转过来放映，那末一切都不对头了。应当看到上升气流的地方却看到了下降气流，云气不是在结集而是在疏散，闪电反而出现在云朵发生变化之先，以及无数其他奇怪现象。

天文学和气象学所以这样不同，特别是天文学时间显然是可逆的，而气象学时间显然是不可逆的，其原因在那里呢？首先，气象学系统是由数目极多而大小几乎相等的质点构成的，其中有些质点彼此有非常紧密耦合的相互关系；而以太阳系为中心的天文系统则情况相反，它只包括数目比较少而大小又极为悬殊的一些质点，这些质点彼此间的联系十分松弛，以致第二次的耦合效应不会影响我们观测的基本情况，而更高次的耦合效应则可以全部略去。行星是在少数几种力支配的条件下运动的，这种孤立的程度比之实验室中进行的任何物理实验还要彻底得多。和行星之间的距离相比较，行星乃至太阳差不多就是质点。从它们的弹性形变与塑性形变来看，行星差不多就是刚体，即使不是这样，无论如何，当我们考察它们中心的相对运动的时候，它们的内力是比较不重要的。在

① palindrome(希腊字)，指词和句子当把它们从后往前读时，仍保持原文，如“комок”“por rop”。——俄译者注。

行星运动的空间中，几乎完全没有什么阻碍物；在研究行星相互吸引的时候，可以认为它们的质量差不多集中在中心上而且是不变的。万有引力定律和平方反比定律之间的分歧非常之小。我们对太阳系中各个星体的位置、速度和质量在任何时候都是十分清楚的；如果要计算它们的未来和过去的位置，细节上虽然有困难，但原则上是容易的，计算的结果也是正确的。然而，在气象学方面，我们涉及的质点，数目这么多，要准确记录它们的初始位置和初始速度是绝对不可能的；即使真的做出这种记录，也算出它们未来的位置和速度，我们得到的无非是一堆乱七八糟的数字，要想使它有任何用处，还得从根本上重新加以解释。所谓"云"、"温度"、"乱流"等等术语都不是指的个别的物理状态，而是指的许多可能状态（虽则成为现实的只是其中的一个状态）的分布。如果我们同时记下全世界气象站的全部测量结果，按照牛顿观点去看，它们还是不能提供说明大气实际状况所必需的数据的亿万分之一。它们只能提供和千变万化的大气运动状态相一致的某些常数。顶多再提供一些先验的假定，这些假定能够对一系列可能的大气状态提出它们的几率分布，也就是提出它们的测度。运用牛顿定律或任何其它因果体系，我们对未来任何时刻所能做的预测只是系统中若干常数的几率分布，甚至这种可预测性还会随着时间的增长而消失。

即使在时间完全可逆的牛顿系统中，当回答几率和预测问题的时候也要发生过去和未来之间不对称的情况，因为这类问题本身就是不对称的。假如我来安排一个物理实验，使得我所考察的物理系统从过去阶段进入现在阶段，我把某些量固定下来，我有理由去假定另一些量具有已知的统计分布，然后我来观测一定时间后各项结果的统计分布。这不是一个能够逆转过来进行的过程。如果要使它能够逆转过来进行，那就必须选出系统的一个适当分布，使系统不受我们的干涉自己就会进入某种统计限界内，同时还必须找到为实现这个分布，在一定时间以前的先决条件。但是，从未

知的位置出发而会进入任何严格规定的统计范围中去的系统，就像奇迹一样难找，我们的实验技术当然不能建立在等待和计算奇迹的基础上面。总之，我们是受时间支配的，我们跟未来的关系和我们跟过去的关系并不相同。我们的一切问题都被这种不对称性制约着，我们对这些问题的全部答案也同样受着这种约束。

在谈到天体物理学时间的时候，发生了一个非常有趣的关于时间方向性的天文学问题。在天体物理学中，我们是以一次观测来观察远距离天体的；这种实验按其性质来说似乎不是单向性的。那末根据地球上实验观测而建立起来的单向的热力学为什么会在天体物理学的研究上对我们有那么大的用处呢？答案是有趣的，但是不太简单。我们观测星体是借助于被观测对象发射出来的并被我们知觉到的光、射线或质点的作用。我们的眼睛能够知觉射进来的光，但不能知觉射出去的光，或者说，至少我们不能用一种像知觉射进来的光那样简单而直接的实验来知觉射出去的光，在知觉射进来的光的时候，我们用眼睛或底片来接受。我们接受影象的条件是使眼睛和底片在前一段时候处于隔离状态：我们先使眼睛处于黑暗中，是为了消除正在过去的影象的痕迹；我们要把底片用黑纸包起来，是为了防止漏光。很清楚，只有这样的眼睛和底片对我们才有用处。假如老是只看到已经过去的影象，那末我们就等于瞎子；假如在使用底片以后才把它用黑纸包起来，在使用之前就把它拿去冲洗，那就没法摄影了。正因为这样，我们才能看到那些向着我们和全宇宙放射光芒的星体；但如果还有一些星体是往相反方向进化的话，它们也会从整个天空吸引辐射，这种吸引，即使吸引的是我们地球的辐射，我们也是无法觉察的，因为我们知道的只是我们的过去，不是我们的未来。因此，我们看得到的这一部分宇宙，就辐射的发射而言，它的过去-未来关系一定和我们的过去-未来关系相一致。我们看到一颗星这件事实就是意味着这颗星的热力学和我们的热力学相似。

的确，幻想一个理智动物，其时间方向和我们相反，是一个非常有趣的智力实验。这个动物和我们之间的一切通讯都是不可能的。他发出的任何讯号到达我们这里的时候，逻辑的顺序改变了：在他看来是结果的部分，在我们看来却是原因。这些原因应该都在我们的经验中出现过，我们很自然地就用它来解释他的讯号，并不去设想这是由一个有理智的动物发来的。如果他给我们画一个正方形，我们一定会把他的最后几笔看成是最前的几笔，而且他所画的正方形，在我们看来，就好像是这些笔迹的奇怪的结晶(这总是可以解释清楚的)。这个图形的意义是那么出人意外，就像我们把一个人的面孔看作高山悬崖了，这种正方形的画法对我们说来成了一种突然的变动，由于这种突然的变动[①]，正方形不存在了。这的确很突然，但用自然定律还是可以作出解释的。我们的对方对我们也会有完全类似的想法，能够和我们通讯的任何世界，其时间方向和我们相同。

再来比较一下牛顿天文学和气象学的不同之点：有很多科学处在中间地位，但比较起来，大多数更像气象学。甚至天文学自身，如上所述，也有宇宙气象学这一分支。天文学还包括了乔治·达尔文爵士所研究的极其重要的领域，叫做潮汐进化论。我们曾经讲过，太阳和行星的相对运动可以看作刚体的运动，但是实际情况不完全这样。譬如说，地球几乎是被海洋包围着的。比地球中心近于月球的那一部分水要比那一部分陆地更为强烈地受到月球的吸

---

① 由于这种突然的变动，即由于时间方向与我们相反的那个动物在画正方形，正方形反而不见了。这是因为那个动物那里的"过去"(此时正方形还没有开始画，还是一张白纸)正是我们的"未来"，它的"未来"(此时正方形已经画好)却是我们的过去。因此当那个动物画正方形的时候，从我们的时间顺序看来，先有一张完整的正方形图画，以后却逐步消失了。正像黑板上原有一个用粉笔画好的正方形，我们按画它时相反的笔法顺序，逐步抹去一样。——汉译者注。

引，而在另一半球则情况相反。这一比较微小的效应使水形成两个波峰，一个正对月球，一个背对月球。如果地球完全是个液体的球，这两个波峰就会随着月球围绕地球旋转，能量逸散不大，因此它们的位置可以相当精确地保持着正对月球和背对月球。这样，它们就会对月球形成一个拉力，这对月球在天体的角位置不会起太大的影响。但是，这两个波峰在地球上产生的潮汐要被海岸和白令海与爱尔兰海这一类浅海拉扯住，因而它落后于月球的位置，而产生潮汐的力则是许多杂乱的和逐渐消失的力，它们的性质和气象学上遇到的力非常相似，需要统计地处理。的确，海洋学可以叫作水圈的气象学，这总比叫作大气的气象学好些。

这些摩擦力阻碍着月球绕地球的运行，同时加速了地球的自转。这些力量倾向于使一个月的长度和一天的长度彼此接近起来。我们知道，月球的一天就是地球的一月，同时月球总是差不多以同一面朝着地球的。有人猜想这种情况是古代潮汐进化的结果，那时候，月球含有液体、气体或塑胶体，因而在地球吸引下可以产生潮汐进化，同时在进化的过程中散逸大量的能量。这种潮汐进化的现象不仅限于地球和月球，在一切引力系统中都能观察到一些。在以往年代，潮汐进化现象使太阳系的面貌有过巨大的改变，但在人类的历史阶段中，这种变形和太阳系中行星的“刚体”运动比较起来是微乎其微了。

由此可见，即便在引力天文学中也有逐渐衰减的摩擦过程。没有一门科学完全符合于严格的牛顿式样。生物学研究的现象完全是单向的。生并不恰恰是死的反演；同化（即组织的生成）也不恰恰是异化（即组织的破坏）的反演。细胞的分裂不是按照时间上对称的式样来进行的，由种细胞结合变为受精卵的过程也不是这样。个体是顺着一个时间方向前进的飞箭，种族也同样是从过去进入未来。

古生物学的记录说明了一种确定不移的长期趋势：进化的过

程是从简单走向复杂，虽然其中有断续，也有交错。在上一世纪中叶，这种趋势对于一切诚实而心胸开阔的科学家说来，已经十分明显了；达尔文和华莱士两人大约在同时候把解释这种机制的工作都大大地推进了一步，这不是偶然的。这个步骤就是肯定了以下的事实：不论是从个体或是从种族的观点看，由于各种变异都具有不同程度的生活力，种的个体即使仅仅产生一次偶然变异也会或多或少地对该种向一个方向或几个方向进化的路线发生影响。一只没有腿的突变种狗一定会饿死；但是，一只瘦长的、已经在肋骨上长出爬行机构的蜥蜴，如果它有光滑的外形同时又没有妨碍行进的四肢突起的话，那它就会得到更好的生存机会。一个水生动物，无论是鱼类、爬虫类或哺乳类，如果是流线型的、肌肉发达的并且具有用来打水的尾部构造的话，就会游泳得更好；如果它要依靠迅速的行动来猎捕食物的话，那它必须有上述的形体，才能获得生存机会。

达尔文的进化论是这样一种机制，它把或多或少的偶然变异性联合成一种比较固定的型式。达尔文的原理今天仍然有效，虽然我们对于这个原理所依据的机制已经有了更多的知识。孟德尔(Mendel)的工作给了我们一个远比达尔文精确的和不连续的遗传观点，而从德·甫里斯(de Vries)以来，突变的概念已经完全改变了我们对于突变的统计基础的概念。我们研究了染色体的细微的解剖构造，并且确定了基因在染色体上的位置。近代遗传学家人数众多而且才能卓绝。其中如海登(Haldane)等人已经使孟德尔遗传学的统计研究成为研究进化论的有效工具。

我们前面谈过查理·达尔文的儿子乔治·达尔文爵士的潮汐进化论。父子之间的思想联系以及共同选用“进化”这个术语都不是偶然的。在潮汐进化论中，如同在物种起源学说中一样，可以找到一种机制，按照这种机制，潮汐波和水分子的无规则运动这种偶然变异性通过动力学过程表现为单向的发展型式。十分明显，潮汐

进化论就是老达尔文的见解在天文学上的应用。

达尔文的第三代，查理爵士是近代量子力学的权威学者之一。这件事也许是偶然的，但还是说明了统计的观念又进一步侵入了牛顿的观念。麦克士威尔-玻尔兹曼-吉布斯这一串名字说明了热力学正逐渐地被归结为统计力学，也就是说，热和温度的现象被归结为这样一些现象：对于这些现象我们用牛顿力学去处理的不是单一的动力学系统，而是用许多动力学系统的统计分布；同时我们的结论也不是针对其中个别的系统，而是针对其中的绝大多数。大约在 1900 年，人们已经知道在热力学中，特别是在辐射问题方面，有若干严重的错误。普朗克定律表示：以太吸收高频辐射的能力比当时存在的任何力学化的辐射理论所允许的要小得多。普朗克用辐射的准原子理论——量子理论——十分令人满意地解释了这些现象，不过这个理论是和物理学所有其他部分相冲突的。随后玻尔也提出了一个类似于普朗克的 *ad hoc*① 原子理论。这样，牛顿和普朗克-玻尔就分别构成了黑格尔二律背反的正命题和反命题。海森堡在 1925 年发现的统计理论是二者的综合，在这个理论中，吉布斯的统计的牛顿动力学被另一个统计理论所代替，这个理论和牛顿与吉布斯说明宏观现象的统计理论很相似；但是，在海森堡的理论中，现在和过去的数据的完全集合还不足以用来比统计更好地预测未来。因此，应该指出：不仅是牛顿天文学，甚至是牛顿物理学也变成了一幅统计状态的平均结果的图画，因而也成了对一种进化过程的说明。

由牛顿的时间可逆到吉布斯的时间不可逆这个转变是有哲学方面的反响的。柏格森曾经强调指出物理学的时间和进化论与生物学的时间的不同：前者是可逆的，其中没有什么新事物出现；后者是不可逆的，其中总是发生着新奇的事物。认为牛顿物理学不是

① 专门适合这种情况的。——俄译者注。

生物学的适当框架，这种见解也许就是活力论和机械论古老的论争中心；虽然这个论争曾经被一种愿望弄得复杂化了，这个愿望就是想用这种或那种形式，至少把灵魂和上帝的痕迹保留下来，以防御唯物论的侵入。结果是，如我们看到的，活力论者做得太过份了。他们不是在生命的要求和物理学的要求之间建立一堵墙，而是建立了一座把物质和生命一古脑儿都圈进去的万里长城。不错，新物理学的物质不同于牛顿物理学的物质，但它离活力论者的拟人论的愿望究竟还远得很。量子理论家的所谓偶然不是奥古斯丁道德学上的自由，泰克(Tyche)作为冷酷无情的女神就跟安南克(Ananke)① 一样。

每个时代的思想都被反映在那个时代的技术中。古代的工程师是土地测量家、天文学家和航海家；17 世纪和 18 世纪初期的工程师是钟表工人和磨透镜的工人。和古代一样，匠师按照天体的形象去制造工具。一只怀表无非就是一个袖珍太阳仪，它的运动有其必然性，就像天体的运动一样；如果摩擦力和能的逸散在其中起着作用，那么就应该克服这些作用，使时针的运动尽可能地周期化和规律化起来。依照惠更斯和牛顿的方式发展起来的工程学的主要技术成果，就是航海时代的出现，这时人们第一次以相当精确的方法计算出经度，因而远洋贸易不再是碰运气和冒险的行动，而变成一种正常合理的事业。这是重商主义者的工程学。

在商人之后出现的是制造商，在计时器之后出现的是蒸气机。从纽可门蒸气机时代差不多到今天，工程学的中心领域是从事原动机的研究。热变成了有用的转动和平动的能量，伦福德、卡诺和焦耳等人补充了牛顿物理学。热力学随后出现了，这是一门时间显然不可逆的科学；虽然这门科学早期形成的思想体系似乎跟牛顿

① 泰克(希腊语)——机遇的意思；安南克(希腊语)——命定的意思。"——俄译者注。

动力学毫不相干，但是，能量守恒理论和以后对卡诺原理的统计解释、对热力学第二定律或能量逸散原理——这个原理指出蒸气机所能获得的最大效率决定于气缸和冷凝器的工作温度——所做的统计解释，都使得热力学和牛顿动力学融合为同一门科学的统计的和非统计的两个方面了。

如果17世纪和18世纪初叶是钟表的时代，18世纪末叶和19世纪是蒸气机的时代，那么现在就是通讯和控制的时代。电工学上曾经有过一次分裂，德国人把它叫作强电流技术和弱电流技术之间的分裂，我们知道这就是动力工程学和通讯工程学的划分。正是这个分裂把过去年代和我们现在生活着的时代区分开来。诚然，通讯工程学能够处理任何强度的电流，而通讯工程学中机器动作的力量也足够扭转一个笨重的炮塔；它之所以和动力工程学不同，是因为通讯工程学的主要目的不是在节约能量，而是要使讯号准确地再生。这个讯号可以是电键的叩击，它必须由另一端的电报接受器的叩击再生出来；它也可以是通过电话装置来传递和接收的声音；它也可以是驾驶盘的转动，结果改变了舵的角位置。通讯工程学是由高斯(Gauss)、惠士通(Wheatstone)和第一批电报家建立起来的。在上一世纪中叶第一次横穿大西洋海底的电报工程失败之后，它才由开尔文爵士给予第一次合理的科学论述；从80年代以来，在赋予它以现代形态的工作上，大概亥维塞德贡献最多。在第二次世界大战中，雷达的发明及其应用以及控制防空炮火的迫切任务，把大量有修养的数学家和物理学家都动员到这个领域中来了。自动计算机的神奇也属于这个思想领域，的确，人们在过去从来也没有像今天这样活跃地探究着这个思想领域。

自从得达拉斯(Daedalus)或亚历山大里亚的希罗(Hero of Alexandria)以来，在技术发展的每一阶段上，人们对于技师模仿生命体制造出机器的才能，总是很感觉兴趣的。这种制造和研究自动机的愿望常常用当代技术表现出来。在巫术时代，泥人高兰

(Golem)就是一种奇特而邪恶的想法，布拉格的犹太教的法律师用亵渎上帝圣名的咒语给这个泥像注入了生命。在牛顿时代，自动机就是钟机音乐箱，顶上装着生硬地跳着足尖舞的小雕像。在19世纪，自动机就是那著名的热机，燃烧着易燃的燃料以代替人的肌肉中的糖元。最后，现代的自动机用光电管来开门，或者使枪炮向雷达找到飞机的地方瞄准，或者把微分方程的解计算出来。

希腊时代和魔法时代的自动机都不是现代机器的发展方向，它们似乎对重要的哲学思想也从来没有起过什么作用。钟机自动机的情况就大不同了。这种思想曾经在现代哲学的初期历史中起过很本质、很重要的作用，虽然我们常常没有看到这一点。

首先，笛卡尔把低等动物看成是自动机。这样做是要避免对正统的基督教看法表示怀疑，因为正统的基督教看法认为动物没有可以拯救和惩罚的灵魂。至于这些有生命的自动机究竟怎样活动，据我所知，笛卡尔没有讲过。但是，和这有关的一个重要问题，即人类灵魂（包括感觉和意志这两个方面）与物质环境的关联方式问题，笛卡尔是讲过的，虽然他讲得极其不能令人满意。他把这种关联的位置定在他所知道的大脑中央部位——松果体。至于关联的性质——不论它是否表现为心对物和物对心的直接作用——他是不太清楚的。可能他确实把这种关联的性质看作是双方面的直接作用；但是，他把人类经验作用于外界时的正确性归诸上帝的善良和正直。

归诸上帝的这种作用是不可靠的。假如上帝是完全被动的，那末，很难看出笛卡尔的解释真正说明了什么东西；假如上帝是主动的参与者，那末，上帝的正直除了保证他是我们感觉活动中的主动参与者外，很难看出还有什么意义。这样，与物质现象的因果关系平行的还有一条从上帝的活动产生的因果关系，上帝通过这种活动在我们心中创造出同某种物质状况相对应的经验。这个假定一旦成立，那就很自然地要把我们的意志与其在外界产生的结果相

符合同样归诸神的干涉了。这是偶因论者格林克斯(Geulincx)和马勒伯朗士(Malebranche)所追随的道路。斯宾诺莎在很多方面是这个学派的延续者,偶因论的学说在他那里得到了较为合理的形式:他主张心与物的对应就是上帝的两个独立自足的属性的对应。但是,斯宾诺莎总是不用动力学的观点来考虑问题的,因之他对这种对应的机制考虑得很少,甚至没有考虑。

这就是莱布尼茨开始研究以前的局面,但是,莱布尼茨是习惯于用动力学观点去考虑这个问题的,就像斯宾诺莎习惯于用几何学观点去考虑这个问题一样。首先,他用一双对应的元素的连续统——单子——去代替心和物这一双对应的元素。这些单子虽然是按照灵魂的方式来设想的,但其中有很多单子没有达到像完整灵魂那样具有自我意识的程度,它们成为被笛卡尔称作物质的那一部分世界。每个单子,从创始或负无穷的时间到无限遥远的未来,各以完整的因果关系生存在自己的密闭的宇宙中;它们虽然是密闭的,但由于上帝的预先调和,因而彼此可以对应。莱布尼茨曾经把单子比作上了发条的能够从开天辟地起永恒地保持同一速度的钟表。单子不同于人造的钟表,它们不会产生快慢的差别,这是造物主的神妙完美的手艺所致。

因此,莱布尼茨是按照钟机的模式来考察他所构成的自动机世界的,这对于惠更斯的信徒说来是很自然的事。单子可以互相反映,但这种反映没有使因果关系互相转移。它们实际上就跟八音盒顶上被动地跳着舞的小人那样独立自足,甚至更加独立自足。它们对外界没有真正的影响,而外界也同样地不影响它们。正如莱布尼茨所说的,它们没有窗户。我们所看到的显然有组织的世界只是某种介乎虚幻和奇迹之间的东西。单子乃是牛顿太阳系的缩影。

在19世纪,人们是从另一种角度来研究人造自动机和那些自然自动机,即唯物论者所讲的动物和植物。能量守恒和能量逸散是当时的基本原理。生命体首先是一部热机,它把葡萄糖、糖元或淀

粉、脂肪和蛋白质燃烧为二氧化碳、水和尿素。新陈代谢的平衡问题是人们注意的中心；如果有人注意到动物肌肉的工作温度较低而一架具有同样效率的热机的工作温度较高这个矛盾的话，那也就避而不谈，只是用生命体的化学能和热机的热能有所不同的说法来马马虎虎地解释一下。所有的基本概念都和能量有关，而主要是和热能有关。身体的工程学是动力工程学的一个分支。这个观点，直到今天，还在那些喜欢用古典看法来考虑问题的保守的生理学家中间占着优势；像拉舍甫斯基(Rashevsky)及其学派这一批生物物理学家的整个思想倾向证明上述见解仍然是有势力的。

今天，我们认为身体远不是一个守恒系统，它的各个组成部分在这样的环境中工作着：它们在这里所能利用的功率远较我们想象的要大得多。电子管就说明一个带有外部能源的系统(全部能量几乎都被浪费掉了)在完成规定的操作上可以是一个极有效的工具，特别是在低能量级下工作的时候。我们已经开始注意到我们躯体中神经系统的原子——神经元——这样重要的要素，它们是在跟真空管非常相同的条件下工作着，它们所需的很小的功率通过血液循环由外部供给；我们也注意到了记载神经元功能的最本质的簿记不是能量的簿记。总之，对自动机(无论是对金属自动机或是对血肉自动机)的新的研究都是通讯工程学的一个分支，它的基本概念就是关于消息、干扰量或"噪声"(一个从电话工程师那里取得的术语)、信息量、编码技术等等的概念。

在这种理论中，我们研究着这样一种自动化，它不仅通过能量流动和新陈代谢，而且通过印象和传入消息的流动以及由传出消息引起的动作的流动和外界有效地联系起来。自动机接受印象的器官相当于人和动物的感觉器官。它们包括光电管和其他光接受器，包括用来接收本身发出的短波长波的雷达系统，包括相当于味觉器官的氢离子势记录器、温度计、各种压力计、放大器，等等。相当于动作器官的可以是电动机、螺线管、热线圈或其它不同性质的

工具。在接受器或感官和动作器之间有一系列中介的元件，它们的功用是把传入的印象重新结合起来，以便在动作器中产生所希望的反应。传入中枢控制系统的信息经常也包含着关于动作器自身工作状况的信息。发出这些信息的元件和人体的运动感觉器官和其他本体感觉器官相当，因为我们也有记录关节位置或肌肉收缩率等等的器官。此外，自动机接收到的信息不一定立刻使用，可以被搁置或贮藏起来以供将来之需，这可以跟记忆相似。最后，在自动机运转的时候，它的操作规则本身会按照过去通过接受器的数据的情况而多少发生变化，这就像是学习的过程。

我们现在所讲的机器不是唯觉论者的梦想，也不是未来某个时候才能实现的希望。它们已经实现了，恒温器、自动回转罗盘船舶驾驶系统、自动推进导弹——特别是自己寻找目标的导弹、防空炮火的控制系统、自动控制的石油热裂蒸馏器、超速计算机等等都是。它们在战前很久就开始使用了（实在说，非常古老的蒸气机调速器也应该列在这里头），但是，第二次世界大战的大规模机械化措施才促使它们具有今天的面貌，为了掌握极端危险的原子能可能也需要把这些机器推向更高的发展阶段。目前，不到一个月就出一本所谓控制机械或伺服机械的新书，现在的时代真是伺服机械的时代，就像 19 世纪是蒸气机的时代而 18 世纪是钟表的时代一样。

总结一下：现代的各种自动化是通过印象的接受和动作的完成和外界联系起来的。它们包括感官、动作器和一个用来把从一处到另一处的传递信息加以联结的相当于神经系统的器官。它们很便于用生理学的术语来描述。因此，用一种理论把它们跟生理学的机制概括在一起并不是什么奇迹。

这些机制和时间的关系需要很细心的研究。当然，输入-输出关系在时间上是一种循序关系，而且具有确定的过去 未来的次序，这些都是清楚的。不够清楚的地方也许就在于灵敏自动机的理

论是一个统计的理论。通讯工程的机器，根据单独一次输入而产生的动作是不会使人感到兴趣的。这种机器如果要能充分发挥作用，它就必须对全部输入都作出令入满意的动作。这也就是说，对一类从统计上预期要收到的输入做出统计上令人满意的动作。它的理论应该属于吉布斯统计力学的范围，而不应当属于古典牛顿力学的范围。这个问题我们将在专门讨论信息理论的一章中作详细的研究。

因此，近代自动机跟生命体一样，都存在于柏格森的时间中，按照柏格森的观点，我们没有什么理由认为生命体活动的基本方式一定和模拟生命体的人造自动机有所不同。活力论者已经胜利到这样的地步，即使是机械也要符合于活力论的时间结构；但是，如上所述，这个胜利其实是彻底的失败，因为按照任何跟道德、宗教略微有关的观点来看，新的力学跟旧的力学一样地机械。是否应该把这种新观点叫作唯物论观点，这主要是一个讲法的问题。19世纪物理学所处形势的特征就是物质这个概念远比今天更有势力；“唯物论”这个名词已经差不多变成“机械论”的不严格的同义语了。事实上，机械论者和活力论者全部争论的问题都因提法不当而被抛到垃圾箱里去了。

第 二 章

群和统计力学

大约在这个世纪初，有两位科学家，一位在美国，一位在法国。要是说他们稍微有一点知道对方的存在，他们的研究方向表面上却是彼此完全无关的。住在纽哈文（New Haven）的吉布斯（W. Gibbs）发展了他在统计力学方面的新观点。住在巴黎的勒贝格（H. Lebesgue）由于发现了一个用来研究三角级数的新的更有效的积分理论，而和他的老师波瑞耳（E. Borel）齐名。这两位发现者，就他们都是理论工作者而不是实验工作者这点说，是相像的；但除此以外，他们对科学的整个态度，却完全相反。

吉布斯虽然是数学家，但总认为数学是为物理学服务的。勒贝格则完全是个典型的分析学家，对于数学严密性的极其严格的现代标准，他是一个有才能的代表者；他又是一位著作家，据我所知，他的著作中甚至连一个直接有关物理学问题或方法方面的例子也没有。然而，他们两人的著作形成了一个整体，其中，吉布斯提出的问题没有在他自己的著作中找到答案，而是在勒贝格的著作中找到答案的。

吉布斯的基本思想是：按照牛顿动力学的本来面目，我们处理的是一个具有已知初始速度和初始动量的单个系统，这系统在一定的力系作用下，按照把力和加速度联系起来的牛顿定律而变化，但对于绝大多数场合，我们无法知道所有的初始速度和初始动量。可是，如果假定系统的这些没有完全知道的位置和动量具有一定

的初始分布，那末，我们就可以完全用牛顿的方法来决定系统在以后任一时刻的动量和位置的分布。这样，我们就能就这些分布作出推论，这些推论中有一些具有这样的判断的性质：系统在将来出现某些特征的几率为1，或出现其他某些特征的几率为零。

几率为1和几率为零这两个概念的含义，是完全确定和完全不可能，但它们还有更多的意义。假如我用具有点的尺度的枪弹射击一个靶，我命中靶上任一特定点的机会一般说是零，虽然命中它并不是不可能；的确，当我每次射击的时候，我一定会命中某一特定点，而这本来是一个几率为零的事件。因此，我总会命中某一点这个几率为1的事件，可以是由许多几率为零的事件集合构成的。

但是，在吉布斯的统计力学方法中，采用了如下一种手续，不过这个手续是隐含采用的，吉布斯本人从来没有清楚地意识到；这就是把一个复杂的偶然事件分解成一个由许多比较局部的偶然事件构成的无限序列——第一个、第二个、第三个、等等，它们各有一个已知的几率；而且，这些构成无限序列的比较局部的偶然事件的几率之和，就表示这较大的偶然事件的几率。因此，我们虽然不能在所有可能设想的场合都用几率求和来得到总事件的几率——因为任意个零之和仍为零，但如果总事件中各个偶然事件能够按照第一、第二、第三等等排列起来构成一个序列，其中每一项都有一确定的能用一正整数标示的位置，我们就能够对全部几率求和。

要区别这两种情形，必须对事件集合的性质作相当精细的考虑，吉布斯虽然是个很有权威的数学家，但还不够细致。能不能有一种无限集，它和其他的无限集，例如正整数集，在浓度① 上有着

① 这个"浓度"的原语是 multiplicity，在集合论的术语上，使用势（power）这个字。两个集合之间如果有一对一的对应关系，它们便有相同的势，具有与自然数集合相同的势的集合便是可数的势。在这里表现为可以"排列成 1，2，3，…"——日译者注。

本质的差别呢？这个问题在上一世纪末由康脱解决了，答案是“有的”。如果考虑 0 到 1 之间所有不同的分数，无论是有理数或无理数，我们就会看出，它们是不能按照 1、2、3……的次序排列起来的——虽然很奇怪的是，所有的有理分数能够这样来排列。因此，吉布斯的统计力学要求对这两种情形加以区别[①]，显然不是不可能的事。勒贝格对吉布斯理论所作的贡献，就在于他证明了，统计力学关于几率为零偶然事件的内在要求，以及关于对这些偶然事件的几率求和的内在要求，实际上是能够实现的；并且他证明了，吉布斯理论本身并不包含任何矛盾。

但是，勒贝格的工作并不是直接基于统计力学的需要，而是基于一个看来完全不同的理论，即三角级数理论的需要。谈到三角级数理论，这就要回溯到 18 世纪的波和振动的物理学，回溯到当时激烈争论的一个问题：线性力学系统的任何运动是否普遍地都能由系统的简单振动综合而成；所谓简单振动，就是指这样的振动，其所经历的时间不过就是它对平衡状态偏离的值乘上一个仅仅与时间有关而与位置无关的或正或负的量。这样，一个函数就表示成一个级数和。级数中各个系数则表示成这函数与一已知的权函数乘积的平均值。整个理论在于，级数的平均值可以用级数中各个项的平均值表示出来。另一方面，我们注意，一个在 0 到 A 的区间中为 1 而在 A 到 1 的区间中为 0 的量，其平均值为 A，可以把它看作已知落在 0 到 1 之间的不定点应当落在 0 到 A 区间中的几率。换句话说，级数平均所需要的理论和为了能充分讨论事件的无限序列的复合几率而需要的理论，有着非常密切的关系。这就是为什么勒贝格在解决自己问题的时候也同时解决了吉布斯的问题的原因。

① 几率对于可数事件是可以加的，然而对于不可数的势的事件一般是不能加的（可参照 46 页的译注），在这里势的区别很重要。——日译者注。

吉布斯讨论的特殊分布，本身有其动力学上的解释。假设考虑某个有 N 个自由度的最一般的保守动力学系统，它的位置和速度坐标一共有 $2N$ 个，其中 N 个叫做广义位置坐标，另外 N 个叫做广义动量坐标。这些坐标决定一个 $2N$ 维空间，定义着 $2N$ 维体积。在这空间的任意一个区域中，每个点都依据力学定律随时间而流动，这时，每个点的 $2N$ 个坐标的集合改变为另一个由经过时间决定的新的 $2N$ 坐标的集合，但是，虽然这个区域的边界在连续变化，它的 $2N$ 维体积并不改变。因为定义集一般不像定义这些区域那样简单，所以由体积的概念就进一步引出了勒贝格型的测度体系。对于保守动力学系统，它在经受变换时，勒贝格测度保持不变，此外它还有一个数值可以计算的对变换也保持不变的量，这就是能量。如果系统中各个物体仅仅是两两相互作用，在空间中任何固定位置和固定方向上没有外部附加力的作用，那末，系统还有另外两个数值保持不变的量。它们都是矢量，即整个系统的动量和角动量。我们不难消去相应于它们的坐标，使得系统的自由度更少。

对于很特殊的系统，还可以有一些与能量、动量和角动量无关的其他不变量，它们的数值在系统变化的时候也是不改变的。然而我们知道，从十分精确的意义上说，实际上很难找到一种力学系统，它既有依赖于系统初始坐标和动量的其他不变量，又能充分正规地用基于勒贝格测度的积分法加以积分①。对于没有其他不变量的系统，我们可以把相应于能量、动量和总角动量的坐标固定起来，而在其余坐标的空间中，由位置和动量坐标所决定的测度本身又定出一种子测度，正像三维空间的测度能够决定二维曲面族中二维曲面的面积一样。例如考虑一个同心球面族。当两个固定球面间的总体积规格化为 1 时，两个相邻同心球面间的体积的极限

① Oxtoby, J. C. and Ulam, S. M., "Measure-Preserving Homeomorphisms and Metrical transitivity", *Ann. of Math*, Ser. 2, 42, 874—920(1941).

就是球面上面积的测度。

假设我们对能量、总动量和总角动量已定的相空间中的那个区域采用这新的测度，并假定系统以外并无其他可测的不变量。令这个限定区域的总测度为常数，或者适当改变单位使这常数为 1。因为我们这个测度是由对时间不变的测度得到的，得到的方法也对时间不变，所以它本身也对时间不变。我们称它为相测度，而对它所取的平均则称为相平均。

但是，任何一个随时间变化的量还可以有时间平均。例如，若 $f(t)$ 依赖于 t，那么它对过去的时间平均为

$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T}^{0}f(t)dt; \tag{2.01}$$

对未来的时间平均为

$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{0}^{T}f(t)dt. \tag{2.02}$$

在吉布斯的统计力学中，时间平均和相平均两者都有。吉布斯企图证明这两种类型的平均在一定意义上是相同的，这是很高明的想法。就吉布斯想到这两种平均是有关的这个观念说，他完全是正确的；但就他企图用来证明这种关系的方法说，他就整个地毫无挽救地错了。这并不能责备他，因为在他逝世的时候，勒贝格积分的名声才刚刚传入美国。过了 15 年，它又变成博物馆里的珍品了，唯一的用处只是向年轻的数学家们说明严密性的必要和可能。而且，像奥斯哥德(W. F. Osgood)这样著名的数学家，甚至到他死的时候也没有关心到它①。一直到 1930 年初，柯普曼(Koopman)、冯·诺意曼(von Neumann)、贝克荷夫(Birkhoff)这一群数学家，才最后建立起了吉布斯统计力学的真正基础②。我们下面在研究各

① 虽然如此，奥斯哥德早期的某些工作还是引向勒贝格积分方向的一个重要步骤。

② Hopf, E., "Ergodentheorie", *Ergeb. Math.*, 5, No. 2, Springer, Berlin(1937).

态历经理论(ergodic theory)时将看到这些基础是什么。

吉布斯本人曾经想到,对于一个所有的不变量都被作为多余坐标而消去的系统,相空间中所有各点的运动路径几乎都通过这个空间中的全部坐标。他把这个假说叫做各态历经假说,这个名词是由希腊字 ἔργον(工作)和 ὁδός(路径)来的。但问题首先是,正如普朗切锐耳(Plancherel)和其他一些人指出的,这个假说在任何实际场合都不成立。没有一条可微分的路径能够盖满平面上的一块面积,即使这条路径有无限长。吉布斯的追随者们,也许最后还包括吉布斯本人,都隐约看到了这点,因而他们用准各态历经假说来代替这个假说。准各态历经假说只是说,在时间的进程中,系统一般地几乎通过由已知不变量决定的相空间区域上的每一点。证明这个假说并没有什么逻辑上的困难,只不过用它来得到吉布斯的结论显得十分不够罢了,因为它没有涉及到系统在每一点近旁所耗费的相对时间。

为了理解各态历经理论的真实意义,除了需要平均和测度这两个对弄清吉布斯理论的意义最为必要的概念以外(这里平均是指在给定的域上,对一个在被测的集上为1而在其他各处为零的函数的平均),我们还需要更详细地分析一下不变量和变换群的概念。我们从吉布斯的矢量分析研究中看到,他对这些概念肯定是熟悉的。然而,可以这样说,吉布斯没有充分估计到它们的哲学价值。和他的同代人亥维塞德一样,吉布斯也是一个物理-数学上的敏感常常超过逻辑上的敏感的科学家,他一般是正确的,但常常不能解释为什么他是正确的,也不能解释他如何能正确。

任何一门科学的建立,都必须以非孤立现象的存在为前提。如果世界是由一个没有理性的上帝统治的,他可以一阵心血来潮地作出一连串的奇迹,那么,在这个世界里,我们就要狼狈不堪地被迫等待每一个新灾难的到来。在阿丽思漫游奇境记里的槌球场上,就是这种世界的描绘,在那里,槌球棒是火烈鸟;槌球是慢条斯理

地伸张着和自顾自地爬动着的刺猬；球门是纸牌上的士兵，他们也会自动爬起来随便活动活动；而槌球规则是性情暴躁、捉摸不定的心牌皇后的命令。

游戏中的有效规则或物理学上的有用定律的本质，就是它们都能事先予以陈述，而且可以应用到不止一个场合。一个理想的法则，应当能够反映所讨论的系统在其具体环境变化时仍然保持同一的那种性质。在最简单的情形下，这是指对施于系统的变换集保持不变的性质。这样，我们就导致变换、变换群和不变量的概念。

系统的变换表示一种变化，这时系统的每个元变为另一个元。太阳系在时间 t_1 和时间 t_2 之间发生的变化，是各个行星坐标集合的变换。当移动坐标原点或旋转坐标轴发生的行星坐标的类似改变，也是一种变换。当我们根据显微镜的放大作用，试验一个试品发生的标度改变，同样是一种变换。

旋行变换 A 以后接着施行变换 B，结果得到另外一个变换，它叫做 B 和 A 的乘积或合成 BA。注意，乘积一般与 A 和 B 的次序有关。例如，若 A 是将坐标 x 变为 y，y 变为 $-x$ 而 z 不改变的变换；B 是将 x 变为 z，z 变为 $-x$ 而 y 不改变的变换；则 BA 将使 x 变为 y，y 变为 $-z$，z 变为 $-x$；而 AB 将使 x 变为 z，y 变为 $-x$，z 变为 $-y$。如果 AB 和 BA 是相同的变换，我们就说 A 和 B 是可交换的。

有时，变换 A 不仅能使系统的每个元都变为系统的某一个元，而且每个元都是对某个元施行这个变换的结果，不过这种变换性质不是任何变换都具有的。在这情形下，存在一个唯一的变换 A^{-1}，使得 AA^{-1} 和 $A^{-1}A$ 构成两个很特殊的变换，它们叫做恒等变换 I，这种变换使每个元仍变为自身。我们把 A^{-1} 叫做 A 的逆变换。显然，A 也是 A^{-1} 的逆变换，I 是其自身的逆变换，而 AB 的逆变换是 $B^{-1}A^{-1}$。

有这样一类变换集：属于这个集的每个变换都具有逆变换，其

逆变换也属于这个集；属于这个集的任何两个变换的合成，自身也属于这个集。这类变换集叫做变换群。所有沿直线的、平面上的或三维空间中的平移所构成的变换集，都是变换群；特别是，有一种特殊的变换群，叫做阿贝耳群①，其中任何两个变换都是可交换的。绕一点的旋转和刚体在空间中的各种运动所构成的变换集，都是非阿贝耳群。

假定我们用一个变换群对规定某个量的各个元作变换。如果群中任何一个变换对所有这些元施行变换后这个量保持不变，我们就叫这个量是一个群不变量，群不变量有许多种，其中有两种对我们以后特别重要。

第一种就是所谓的线性群不变量。令一阿贝尔群所变换的各个元用 x 来表示；并令 f(x)是这些元上定义的复值函数，而且具有适当的连续性或可积性。这时，若 Tx 表示变换 T 对 x 作用后得到的元，且 f(x)是一绝对值为 1 的函数，便得

$$f(Tx) = a(T)f(x), \qquad (2.03)$$

式中 a(T)是一绝对值为 1 的只依赖于 T 的数，那末，我们就说 f(x)是群的一个特征标(*character*)，在稍微广义的意义上说，它也是群不变量。如果 f(x)和 g(x)都是群特征标，则 f(x)g(x)显然同 $[f(x)]^{-1}$一样也是群特征标。如果任意一个定义在群上的函数 h(x)能表示成群特征标的线性组合，即它能写成

$$h(x) = \Sigma A_k f_k(x), \qquad (2.04)$$

式中 fk(x)是群的特征标，$\alpha_k(T)$对 $f_k(x)$的关系与(2.03)式中 $\alpha(T)$对 f(x)的关系相同，那末，

$$h(Tx) = \Sigma A_k \alpha_k(t) f_k(x)。 \qquad (2.05)$$

这就是说，如果 h(x)能用群特征标集来展开，则对所有的 T，h(Tx)都能用这些特征标来展开。

① 以 19 世纪挪威数学家阿贝耳(Abel)命名。——俄译者注。

前面已经看到，群特征标的积和反演构成群的另外一些特征标；同样可以看到，常数 1 是群的一个特征标。因此，群特征标对一特征标的乘法构成群特征标自身的一个变换群，我们把它叫作原群的特征标群。

如果原群是无限长直线上的平移群，即运算子 T 使 x 变为 x+T，则(2.03)式变为

$$f(x+T)=\alpha(T)f(x), \qquad (2.06)$$

这个等式在 $f(x)=e^{i\lambda x}$，$\alpha(T)=e^{i\lambda T}$时成立。这时特征标是函数 $e^{i\lambda x}$，特征标群则是 λ 变为 λ+τ 的平移群，就是说它的构造和原群相同①。但如果原群是围绕一个圆的转动，就不会有这种情形。这时，运算子 T 使 x 变为一个在 0 到 2π 间的数，这个数与 $x+T$ 相差 2π 的整数倍，如果要使(2.06)式仍然成立，必须附加条件：

$$\alpha(T+2\pi)=\alpha(T)。 \qquad (2.07)$$

如果仍令 $f(x)=e^{i\lambda x}$，我们就得到

$$e^{i2\pi\lambda}=1, \qquad (2.08)$$

这就是说，λ 必须是一整数，正的、负的或零。这样，特征标群就相当于整数的平移。反之，如果原群表示整数的平移群，则(2.06)式中的 x 和 T 只限于是整数值，而 $e^{i\lambda x}$只包括从 0 到 2π 间的与 λ 相差 2π 整数倍的数。因此，这时的特征标群实际上是绕圆的转动群②。

在任何一个特征标群中，对于一个给定的特征标 f，$\alpha(T)$的数值分布是这样的：对于群中任何的元 S，当所有的 $\alpha(T)$都乘以 $\alpha(S)$时，$\alpha(T)$的数值分布仍然不变。这就是说，如果我们有某个对 α

---

① 即特征标群与原群同构。——俄译者注。

② 此处乃指特征标群 $e^{i\lambda\tau}$的群运算子 τ 使 λ 变为一个在 0 到 2π 间的数，这个数与 λ+τ 相差 2π 的整数倍，又因 x 是整数，$e^{i2\pi x}=1$，故特征标群实际上是一个绕圆的转动群。——汉译者注。

(T)的数值取平均的合理基底，由于这个平均值不受群的每个变换乘上群中某一固定变换而构成的群变换所影响，要就$\alpha(T)$必须恒为 1①；要就这个平均在乘上了一个不等于 1 的数仍保持不变，所以必须是零；两者必居其一。由此我们得到结论：任一特征标与其共轭②(也是一个特征标)的乘积的平均值是1，而任一特征标与另一特征标的共轭的乘积的平均值是零。换句话说，如果$h(x)$能表示成(2.04)式，我们就有

$$A_k = \text{average}[h(x)\,\overline{fk(x)}]. \qquad (2.09)$$

在绕圆的转动群的情形下，根据这个结果我们直接有：若

$$f(x) = \sum a_n e^{inx}, \qquad (2.10)$$

则

$$a_n = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(x)e^{-inx}dx; \qquad (2.11)$$

对于沿无限长直线平移的情形，我们的结果需要比较强的条件：若在适当条件下有

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} a(\lambda)e^{i\lambda x}d\lambda, \qquad (2.12)$$

即在一定条件下有

$$a(\lambda) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\lambda x}dx. \qquad (2.13)$$

我们这里只是很粗略地叙述了上面这些结果，并没有详细说

---

① 例如当元素的数目为 n 个的有限群的时候，$\alpha(T)$的平均M可以用$\frac{1}{n}\sum_T a(T)$得出，但因为$M=\frac{1}{n}\sum_T a(T)=\frac{1}{n}\sum_T a(ST)=\frac{1}{n}\sum_T a(S)a(T)=a(S)M$，所以总是$a(S)=1$或者$M=0$。即便不是有限群，如果"在某种合理的根据之下"得到平均，结果相同。——日译者注。

② 共轭——$a(T)$的共轭$(\bar{a})(T)$是得出$a(T)$的共轭复数之值的T的函数。——日译者注。

明它们有效的条件。关于这个理论的详细讨论，读者可参阅下列的参考书①。

除了线性群不变量理论，还有度量群不变量的一般理论。度量群不变量就是勒贝格的测度系统，它在群所变换的各个元与群的运算子交换时不改变。关于这一点，我们应当援引哈尔(Haar)的饶有趣味的群测度理论②。在这个理论中，每一个群，它的元对于群的乘法运算是可交换的。因此，这个群应当有一个不变测度。哈尔曾经证明，大多数的群都具有可以用群自身的构造来定义的唯一的不变测度。

变换群的度量不变量理论的最重要应用，就是它能证明相平均和时间平均的可互替性，而这一点，如上所述，吉布斯的尝试是失败了的。这种可互替性借以建立的基础，就是各态历经理论。

各态历经定理通常从一个具有下述性质的系综 E 出发：它的测度可定为 1，并且可以通过一个保测变换 T③或通过保测变换群 T^{λ} 变换为自身，这里，$-\infty<\lambda<\infty$，且

$$T^{\lambda}\cdot T^{\mu}=T^{\lambda+\mu}. \qquad (2.14)$$

各态历经理论涉及到在 E 的各个元 x 上定义的复值函数 $f(x)$。在所有的场合，我们都认为 $f(x)$ 对 x 是可测的；如果考虑连

① Wiener, "The Fourier Integral and Certain of its Applications", Cambridge Univ. Press(1932).

② Haar, H., "Der Maassbegriff in der Theorie der Kontinuierlichen Gruppen", *Ann. of Math* (2) 34, pp. 147—169(1933).

③ 保测变换(measure-preserving transformation)——由系综 E 向其本身的变换 T 便是"保测变换"。其所指的是：在 E 里有测度 m 的定义，就是说，有 E 的某部分系综的族 $\mathfrak{L}$，对于 $\mathfrak{L}\ni A$，其测度 $m(A)\geq 0$ 是一定的，$m(A)$ 便是具有与面积等同样性质的东西。E 的变换 T 将 E 的部分系综 A 移到 E 的部分系综 $T(A)$，但如果是"$\mathfrak{L}\ni A$，那么成为 $T(A)\in\mathfrak{L}$，而且 $m(A)=m(T(A))$"的时候，T 就叫作保测变换(保存测度 M 的变换)。——日译者注。

续变换群(T^λ)，我们就认为 $f(T^\lambda x)$ 同时对 x 和 λ 是可测的。

在柯普曼和冯·诺意曼的平均各态历经定理中，$f(x)$ 是 L^2 类的函数，即

$$\int_E |f(x)|^2 dx < \infty. \tag{2.15}$$

这时，这个定理说：对 T 或 T^λ，我们应有

$$f_N(x) = \frac{1}{N+1}\sum_{n=0}^{N} f(T^n x) \tag{2.16}$$

或

$$f_A(x) = \frac{1}{A}\int_0^A f(T^\lambda x) d\lambda \tag{2.17}$$

在此情形下，当 $N\to\infty$ 或 $A\to\infty$ 时，它们各自平均收敛到极限函数 $f^*(x)$，即

$$\lim_{N\to\infty}\int_E |f^*(x) - f_N(x)|^2 dx = 0, \tag{2.18}$$

$$\lim_{A\to\infty}\int_E |f^*(x) - f_A(x)|^2 dx = 0, \tag{2.19}$$

在贝克荷夫的"几乎处处"收敛的各态历经定理中，$f(x)$ 是 L 类的函数，即

$$\int_E |f(x)| dx < \infty. \tag{2.20}$$

函数 $f_N(x)$ 和 $f_A(x)$ 的定义和(2.16)式及(2.17)式中的一样。

这时，这个定理说，除了对测度为 0 的 x 的数值集，极限函数

$$f^*(x) = \lim_{N\to\infty} f_N(x) \tag{2.21}$$

和

$$f^*(x) = \lim_{A\to\infty} f_A(x) \tag{2.22}$$

是存在的。

所谓各态历经变换或度量可迁变换的情形是很有趣的，这时，变换 T 或变换集 T^{λ} 仅仅对测度为 1 或为 0 的 x 点集才保持不变。在这情形下，使 $f^{*}(x)$ 能有一定范围数值的一组值几乎恒为 1 或恒为 0(无论对那一个各态历经定理来说)。这种情形只有在 $f^{*}(x)$ 几乎恒为常数时才可能发生。于是，我们可以假定 $f^{*}(x)$ 的值几乎恒为

$$\int_0^1 f(x)\mathrm{d}x. \tag{2.23}$$

这就是说，在柯普曼的定理中，我们有

$$\underset{N\to\infty}{\mathrm{l.i.m.}}{}^{①}\ \frac{1}{N+1}\sum_{n=0}^{N} f(T^{n}x)=\int_0^1 f(x)dx; \tag{2.24}$$

而在贝克荷夫的定理中，除了对测度为 0 或几率为 0 的 x 以外，我们有

$$\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N+1}\sum_{n=0}^{N} f(T^{n}x) = \int_0^1 f(\xi)\mathrm{d}\xi. \tag{2.25}$$

对于连续群 $\{T^{\lambda}\}$ 的情形，也有类似的结果。以上就是吉布斯相平均和时间平均的可互替性的充分证明。

对于变换 T 或变换群 T^{λ} 非各态历经的情形，冯·诺意曼在很普遍的条件下指出，它们可以分解为各个各态历经的成分。就是说，除了对测度为 0 的 x 集，我们总能把 E 分离成有限个或可列个集 E_n 和一个集类 $E(y)$ 的连续统，使得对各个 E_n 和 $E(y)$ 都存在一个在 T 或 T^{λ} 作用下保持不变的测度。这样，变换 T 和 T^{λ} 对 E_n 和 $E(y)$ 就是各态历经的了；如果 $S(y)$ 是 S 和 $E(y)$ 的相交部

---

① $\underset{N\to\infty}{\mathrm{l.i.m.}}\frac{1}{N+1}\sum_{N=0}^{N} f(T^{n}x)=\int_0^1 f(x)\mathrm{d}x$ 表示 $\lim_{N\to\infty}\int_0^1 \left|\frac{1}{N+1}\sum_{N=0}^{N} f(T^{n}x)-\int_0^1 f(x)\mathrm{d}x\right|^2\mathrm{d}x\to 0$. (l. i. m. 是平均值的极限(limit in the mean)的意思)——日译者注。

分，S_n 是 S 和 E_n 的相交部分，那末，

$$\underset{E}{测}度(S)=\int_{E_y}测度(S(y))\mathrm{d}y+\sum_{E_n}测度(S_n).\quad(2.26)$$

换句话说，整个保测变换理论可以归结为各态历经变换的理论。

由以上所述可以看出，全部各态历经理论都可以运用到比那些与直线上平移群同构的变换群还要普遍的变换群上去，特别是，它可以运用到 n 维平移群的情形。三维的情形在物理上是重要的，时间平衡的空间比拟就是空间的均匀性，这个理论像均匀气体、均匀流体或均匀固体的理论一样建立在三维的各态历经理论的应用上。有时，一个三维的非各态历经平移变换群，好像是不同状态混合起来的平移集；它使得在一给定时刻只存在这个状态或那个状态，而不存在两者的混合状态。

统计力学的重要概念之一，同时也能用在古典热力学中的，就是熵的概念。它首先是用来反映相空间中的一种性质，即表示相空间区域的几率测度的对数。例如，假设在一个瓶中有 n 个粒子，这个瓶被分为 A 和 B 两部分；让我们从动力学上来考虑这 n 个粒子系统的情形。如果 m 个粒子在 A 中，$n-m$ 个粒子在 B 中，那末相空间中某个区域就特征化了：它具有一定的几率测度。这几率测度的对数就是 m 个粒子在 A 中，$n-m$ 个粒子在 B 中这种分布的熵。这个力学系统大部分时间所处的状态将接近最大熵的状态，也就是说，在大部分时间内，约有 m_1 个粒子将在 A 中，$n-m_1$ 个粒子将在 B 中，而 m_1 个在 A 中 $n-m_1$ 个在 B 中的组合几率最大。这意味着，对于由大量粒子构成的系统和实际上可能识别的状态说，如果系统中粒子状态的分布使系统的熵不为最大，那末我们就观察到系统以后的变化几乎总是使得熵增加。

在关于热机这种普通的热力学问题中，我们处理问题的条件是：在气缸这样大的区域内大致达到了热平衡。我们要研究的是熵的那些状态，它们是在给定温度和体积下熵为最大，或者是那些在

我们所采用的某个温度下，对全部体积中的少数区域熵为最大的那些状态。即使我们去更详细地讨论热机，甚至讨论像涡轮机这种气体膨胀方式比气缸中的更为复杂的热机，上述条件也没有什么根本的改变。我们这时仍然可以谈到局部的温度，而且近似程度非常的好，虽然只有在平衡状态并用只对平衡状态有意义的方法才能精确地决定温度。但是，在生命物质中，甚至这种大致的均匀性也很难找到，我们用电子显微镜可以看到蛋白质具有非常确定和精细的结构。它的生理现象肯定是同样精细的。这种精细的程度远远超过通常温度计的"时 空"标度的精细程度，因此，用普通温度计读出的有生命组织的温度，只是粗略的平均值，不是真正的热力学温度。吉布斯的统计力学可以作为躯体内部变化情形的非常合适的模型；但普通热机提供的图景就完全不对头。肌肉动作的热效率几乎没有什么意义，它肯定不是意味它表面上所显示的那种意义。

统计力学中有个很重要的观念，这就是麦克士威尔妖(Maxwell demon)的观念。假设有一气体，其中的粒子按照给定温度下统计平衡的速度分布而运动。对于理想气体，这个分布是麦克士威尔分布。假定现在将这气体装在一个坚固的容器中，器内有一壁隔在中间，壁上有一可以打开的小门，由一守门者来管理；这守门者可以是个类人妖，也可以是个小的机械装置。当大于平均速度的粒子从室 A 趋近门或小于平均速度的粒子从室 B 趋近门时，守门者就打开门，粒子通过它；但当小于平均速度的粒子从室 A 趋近门或大于平均速度的粒子从室 B 趋近门时，门就被关上。这样，室 B 中集中的高速度粒子在不断增加，而室 A 的则不断减少。这显然使熵不断减少；因此，如果这时用一个热机把这两个室连接起来，我们似乎就得到第二类永动机。

拒绝由麦克士威尔妖产生的问题要比解答这个问题简单。否认这种东西或这种结构存在的可能性是最容易不过的事了。实际

上我们下面将看到，对一个处在平衡状态系统，严格意义上的麦克士威尔妖不可能存在；可是如果我们一开始就接受这一点而不加以论证，那我们就要失去一个难得的机会来学习关于熵和关于在物理学上、化学上、生物学上为可能的系统的知识。

麦克士威尔妖在动作以前，必须收到有关前来的粒子的速度和它们碰到壁上的位置的信息。因此，无论在这些碰撞中是否发生能量的传递，麦克士威尔妖和气体之间必然要有相互联系。我们知道，熵增加定律只能适用于完全孤立的系统，并不适用于系统的非孤立部分。因此，我们要关心的仅仅是气体-妖这个系统的熵，不是气体的熵。气体的熵仅仅是这个大系统的总熵的一部分。问题是，我们能不能同时求出麦克士威尔妖对总熵贡献的那一部分熵呢？

完全可以肯定，我们能。麦克士威尔妖只有根据收到的信息才能动作，而这些消息，如我们在下一章看到的，表示一负熵。信息必须通过某种物理过程来传递，譬如说通过某种形式的辐射来传递。这些信息当然完全可以在很低的能量下传递，而且粒子与麦克士威尔妖之间能量传递的意义一般比信息传递的意义小得多。但是，根据量子力学，如果我们不积极去影响试验粒子的能量，使得它超过某一极小值（由试验所用光的频率决定），我们要得到有关粒子位置和动量的任何信息都是不可能的，要同时得到位置和动量的任何信息就更不可能了。因此，所有各种联系严格说来都是能量的耦合；一个处在统计平衡状态的系统，就是对熵和对能量这两者都达到平衡的系统。麦克士威尔妖早晚总要陷于和它周围温度相应的无规运动，正像莱布尼茨所说的某些单子（monads）一样，它收到大量的微小印象，以致陷于"晕头转向"而没有清楚的知觉。事实上，这时麦克士威尔妖已不再作为麦克士威尔妖而动作了。

虽然如此，在麦克士威尔妖失去调制力以前还是有一段相当显著的时间，我们可以认为它在这段时间中的动作状态是亚稳的。我们没有理由认为亚稳的麦克士威尔妖事实上不存在；其实，我们

完全可以认为酶就是亚稳的麦克士威尔妖，不过它的熵减少也许不是由于快粒子和慢粒子的分离，而是由于其他某种相当的过程。我们可以用这个见解来看待生命机体，例如人本身，酶和生命机体肯定都是亚稳的：酶的稳定状态就是失去调制力，生命机体的稳定状态就是死亡。所有的催化剂最终都要中毒：它们能够改变反应速度，但不能改变真正的平衡状态。然而，催化剂和人都具有充分确定的亚稳状态，而且应当认为这些状态具有相对持久性。

在结束本章时，我想指出，各态历经理论是一个比以上讨论的更广泛得多的论题。目前它又获得了某些发展，有人已经证明了，对变换集保持不变的测度可以直接通过这个变换集自身来定义，不需预先假定它存在。这里，我特别要提到克雷洛夫（Крылов）和波哥留波夫（ЪоголЮбов）的工作，还有赫里维奇和日本学派的一些工作。

下一章专门讨论时间序列的统计力学。这是另外一个领域，在这个领域中，我们遇到的条件和热机统计力学中遇到的条件非常不同，因此它很适合用来作为生命机体变化过程的模型。

第 三 章

时间序列，信息和通讯

在很大一类现象中，我们所观测的往往是一个分布在各时刻的数量，或一系列数量。连续记录的温度计记录下来的温度，股票交易所每日的股票牌价，气象局逐日公布的全部气象数据，都是连续的或离散的，简单的或多重的时间序列。这些时间序列都是变化比较慢的，很适合用笔算或用计算尺和计算机这类普通的数字计算工具来处理。它们属于普通统计理论研究的范围。

电话线、电视线路或雷达装置部件中迅速变化着的电压序列，在一般现象中是不常见到的；它们同样属于统计学和时间序列理论的研究范围，虽然用来组合和变换这些电压的装置一般必须动作得很快，以便使输出的结果能够和高速变化的输入同步。电话接受器、滤波器、贝尔电话研究所的伏考德(Vocoder)① 那样的声音自动编码装置、调频网络和它的相应接受器，所有这些本质上都是高速演算的装置，它们抵得上整个统计研究室的全部计算机器、计算表和计算员。如同防空炮火控制系统中的自动测距器和自动瞄准器一样，使用这些装置所必需的机巧是事先就设计在其中了。这

① 伏考德——"合成"电话的装置，在这种电话中，简化了的指挥信号代替真正的语言信息号在通讯线路上传输，这些简化的信号是在输出端经过对语言的分析而产生的。在接收端，经过指挥信号(它决定了音调的高低强弱和节律等)的操纵，原来的语言又被人工地合成出来。——俄译者注。

样做的原因和防空炮火控制系统的情形一样，都是由于操作过程工作得太快，不容许人去插手。

无论在计算工作室或在电话线路中，时间序列和处理时间序列的装置都要涉及到信息的记录、储藏、传递和使用等问题。这里的信息是什么，如何测量它？最简单最基本的信息形式，就是对两个具有相同几率的二中择一的简单事件所作选择的记录，选择时不是这个事件就是那个事件一定要发生。例如，掷硬币时花或字的选择记录就是这种形式的信息。我们把一次这种二中择一的选择叫作一次决断。现在，如果事前已知某个量落在 A 和 B 之间，且以先验的均匀几率落在这个区间中的任何一点，试求对这个量进行完全精确测量后获得的信息量。我们将看到，如果令 $A=0$ 和 $B=1$，并以二进位制的无穷二进位小数。$a_1a_2\cdots a_n$ 表示这个变量，这里每个 $a_1, a_2\cdots$ 的数值或为 0 或为 1，则所作选择的次数为无限次，因而所求的信息量为无限大。这里，

$$a_1a_2\cdots a_n = \frac{1}{2}a_1 + \frac{1}{2^2}a_2 + \frac{1}{2^3}a_3 + \cdots \frac{1}{2^n}a_n + \cdots \quad (3.01)$$

但是，任何实际进行的测量都不是完全精确的。如果测量具有一均匀分布的误差，落在 $b_1b_2\cdots b_n\cdots$ 范围内，这里 b_k 是头一位不等于 0 的数字，则所有从 a_1 到 a_{k-1}（可能还到 a_k）的决断才是有意义的，所有以后的决断都没有意义。这时，需作决断的次数一定接近于

$$-\log_2 \cdot b_1b_2\cdots b_n\cdots,\text{①} \quad (3.02)$$

我们将用这个量作为信息量的精确公式，同时就把它作为信息量的定义。

我们可以如下地来考虑这个定义：事前已知一变数落在 0 到

① $-\log_2 \cdot b_1b_2\cdots b_n\cdots = \log_2 \frac{1}{b_1b_2\cdots b_n\cdots}$——汉译者注。

1 之间，事后得知它落在(0,1)中的区间(a,b)上。于是我们从事后知识中得到的信息量为

$$-\log_2 \frac{(a,b)\text{ 的测度}}{(0,1)\text{ 的测度}} \tag{3.03}$$

然而，让我们现在来考虑另外一种情形：我们事前的知识是已知某个量应落在x到$x+dx$之间的几率为$f_1(x)dx$事后的知识是得知这几率为$f_2(x)dx$。试问，事后的知识给了我们多少新的信息？

这个问题实质上是把曲线$y=f_1(x)$和$y=f_2(x)$下的区域的大小用某种宽度来表示①。应当注意，我们这里要假定变数x具有基本均匀分布，就是说，如果用x^3或任何x的其他函数来代替x，我们的结果一般不会相同。由于$f_1(x)$是几率密度，我们有：

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(x)\mathrm{d}x = 1 \tag{3.04}$$

因而，$f_1(x)$下区域宽度的平均对数可以看成$f_1(x)$倒数的对数之高度的某种平均。因此，相应于曲线$f_1(x)$的信息量的合理测度为②：

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\log_2 f_1(x)] f_1(x)\mathrm{d}x. \tag{3.05}$$

这个我们把它定义为信息量的量，是通常在类似情况下定义为熵的那个量的负数。虽然这定义是个统计学的定义，而且能代替费希尔(R. A. Fisher)统计方法中的定义，但它并不就是费希尔在研究统计问题时所下的那个定义。

① “用某种宽度来表示”——设$a<b$，$x=a$和$x=b$及$y=f(x)$，$y=0$所包括的部分的面积，便是$a\leqslant x\leqslant b$的几率，信息量应当决定于几率。表示这种信息的曲线，可以将$y=f(x)$的曲线在各x上向y方向移动某种程度而得到。这就叫作用某种宽度来表示。——日译者注。

② 这里引用了作者与冯・诺意曼的私人通信内容。

特别，当 $f_1(x)$ 在 (a,b) 上为常数而在其他各处为 0 时，

$$\begin{aligned}&\int_{-\infty}^{\infty}[\log_2 f_1(x)]f_1(x)\mathrm{d}x\\&=\frac{b-a}{b-a}\log_2\frac{1}{b-a}\\&=\log_2\frac{1}{b-a}.\end{aligned}\qquad(3.06)$$

将上式所表示的信息与一处在(0,1)区间中的点的信息比较，我们就得到差的测度：

$$\log_2\frac{1}{b-a}-\log_2 1=\log_2\frac{1}{b-a}\qquad(3.07)$$

将变数 x 推广到在二元或多元区域上变动的变数时，上述信息量的定义仍然适用。在二元的场合，函数 $f(x,y)$ 便得

$$\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}x\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}y f_1(x,y)=1;\qquad(3.08)$$

而信息量则为

$$\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}x\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}y f_1(x,y)\log_2 f_1(x,y).\qquad(3.081)$$

注意，如果 $f_1(x,y)$ 的形式为 $\varphi(x)\psi(y)$，而且

$$\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(x)\mathrm{d}x=\int_{-\infty}^{\infty}\psi(y)\mathrm{d}y=1,\qquad(3.082)$$

则

$$\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}x\int_{-\infty}^{\infty}dy\varphi(x)\psi(y)=1\qquad(3.083)$$

并有

$$\begin{aligned}&\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}x\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}y f_1(x,y)\log_2 f_1(x,y)\\&=\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}x\varphi(x)\log_2\varphi(x)+\int_{-\infty}^{\infty}dy\psi(y)log_2\psi(y);\end{aligned}\qquad(3.084)$$

即来自独立信源的信息量是可加的。

固定问题中一个或多个变数而求由此获得的信息量，是一个

有趣的问题。例如，假定变数 u 落在 x 到 $x+\mathrm{d}x$ 之间的几率为 $\frac{1}{\sqrt{2\pi a}}e^{-\frac{x^2}{2a}}\mathrm{d}x$，变数 v 落在同一范围内的几率为 $\frac{1}{\sqrt{2\pi b}}e^{-\frac{x^2}{2b}}\mathrm{d}x$。如果得知 $u+v=w$，我们由此获得多少关于 u 的信息？这里，显然有 $u=w-v$，而 w 的值是固定的。我们假设 u 和 v 的事前分布是彼此独立的。于是，u 的事后分布正比于

$$e^{-\frac{x^2}{2a}}e^{-\frac{(w-x)^2}{2b}} = c_1 e^{-(x-c_2)^2\frac{a+b}{2ab}}, \tag{3.09}$$

式中 c_1 和 c_2 都是常数。这两个常数在由于 w 固定而增加的信息量的表示式中都不出现。

当我们得知 w 的值时，关于 u 的信息量的增加由上式可知为

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\frac{ab}{a+b}}}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x-c_2)^2\frac{a+b}{2ab}}\left[-\frac{1}{2}\log_2 2\pi\frac{ab}{a+b} - (x-c_2)^2\frac{a+b}{2ab}\right]\mathrm{d}x$$
$$-\frac{1}{\sqrt{2\pi a}}\int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{x^2}{2a}}\left[-\frac{1}{2}\log_2 2\pi a - \frac{x^2}{2a}\right]\mathrm{d}x = \frac{1}{2}\log_2\frac{a+b}{b} \tag{3.091}$$

注意，(3.091)式的值是正的，且与 w 无关。它是 u 和 v 的均方的和除以 v 的均方的对数的一半。如果 v 只在小范围内变化，则由 $u+v$ 的知识提供我们关于 u 的信息量将很大，当 b 趋于 0 时它为无限大。

我们可以用下面的解释来考虑这个结果。我们把 u 当作消息而 v 当作噪声。于是，在无噪声存在时，由正确消息带来的信息量为无限大。有噪声存在时，信息量则是有限的，随着噪声强度的增加，它非常迅速地趋于 0。

我们说过，信息量是一个可以看作几率的量的对数的负数，它

实质上就是负熵。下面我们来证明一件有趣的事：信息量的平均具有熵的各种性质。

令 $\varphi(x)$ 和 $\psi(x)$ 是两个几率密度；于是 $\frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2}$ 也是一几率密度。我们有

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2}\log\frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2}\mathrm{d}x\leqslant$$

$$\leqslant\left\{\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\varphi(x)}{2}\log\varphi(x)\mathrm{d}x+\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\psi(x)}{2}\log\psi(x)\mathrm{d}x\right\}. \quad (3.10)$$

这是由下一关系导出的：

$$\frac{a+b}{2}\log\frac{a+b}{2}\leqslant\frac{1}{2}(a\log a+b\log b). \quad (3.11)$$

换句话说，$\varphi(x)$ 和 $\psi(x)$ 下区域的交迭，使得关于 $\varphi(x)+\psi(x)$ 的最大信息量减少。另一方面，如果 $\varphi(x)$ 是一在 (a,b) 以外为零的几率密度，则当 $\varphi(x)$ 在 (a,b) 上为 $\varphi(x)=\frac{1}{b-a}$ 面在其他各处为零时，

$$\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(x)\log\varphi(x)\mathrm{d}x \quad (3.12)$$

是极小值。这是由于对数曲线向上凸的原故。

如我们所应当预期的，信息损失的过程与熵增加过程十分相似。信息损失过程发生在原来是彼此分开的各个几率区域有相互融合的时候。例如，当我们把某个变数的分布用该变数之函数的分布来代替，面这函数对该变数的不同值取相同值时，或者，当我们允许一个多变数函数中的某个变数任意地在其自然变域上变动时，我们就损失信息。对消息作任何操作都不能使平均信息量增加。这里，热力学第二定律对通讯工程完全适用。反过来，对一暧昧事件的详细整理，如我们所看到的，一般将使平均信息量增加，

而不会损失信息。①

下面的情形是很有趣的。我们有一个变数为$(x_1,\cdots x_n)$的 n 元几率分布密度 $f(x_1,\cdots,x_n)$，同时还有 m 个非独立变数 $y_1,\cdots,y_m$。

---

① 设 $K(\varphi)=\begin{cases}\varphi\log\varphi, & \varphi>0\\ 0, & \varphi=0\end{cases}$，$b-a>0$，设想未必不相异的 n 个点，$(\varphi_i,K(\varphi_i))(i=1,2,\cdots,n)\left(但\ \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\varphi_i=\frac{1}{b-a}\right)$如果在这些点上各个给予质量$\frac{1}{n}$时的质量中心为$C$，则

$$C=\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\varphi_i,\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}K\varphi_i\right)=\left(\frac{1}{b-a},\frac{1}{b-a}\sum_{i=1}^{n}\frac{b-a}{n}\cdot K(\varphi_i)\right).$$

这个点C属于包含上面 n 个点的最小的凸集合，因为$\frac{d^2K(\varphi)}{d\varphi^2}=\frac{1}{\varphi}>0$，所以 $y=K(\varphi)$的曲线在下方是凸的。所以重心 C 的纵坐标是 $K\left(\frac{1}{b-a}\right)$的上面。因此，$\sum_{i=1}^{n}\frac{b-a}{n}\cdot K(\varphi_i)\geqslant(b-a)K\left(\frac{1}{b-a}\right)=\log\frac{1}{b-a}$。(*)在这里能成立等号的，只限于所有 n 个点都与$\left(\frac{1}{a-b},K\left(\frac{1}{a-b}\right)\right)$一致的时候。如果当 $n\to\infty$，那么这对于在 $a\leqslant x\leqslant b$ 中以密度 $\varphi(x)$分布的几率分布$\left(\int_a^b\varphi(x)\mathrm{d}x=1\right)$中，使得所得到的信息量 $\int_a^b\varphi(x)log\varphi(x)dx$ 为最小的，只限于 $\varphi(x)=\frac{1}{b-a}$的时候，而且，这时候的信息量与 $\log\frac{1}{b-a}$相对应。

其次是如上面(*)所证明，如果在 $\varphi_i(i=1,2,\cdots,n)$之中愈接近于$\frac{1}{b-a}$的值的东西，质量中心的纵座标便愈小。即信息量 $\int_a^b\varphi(x)log\varphi(x)dx$，如果在 $\varphi(x)$中接近于$\frac{1}{b-a}$的值的东西越多，便愈接近最小值 $\log\frac{1}{b-a}$。又上面的 $\log\frac{1}{b-a}$，如果$(b-a)$愈大便愈小。即，几率分布的范围 $a\leqslant x\leqslant b$ 越广，那么对于此的信息的最小值 $\log\frac{1}{b-a}$便愈小。——日译者注。

当固定这 m 个变数时，我们由此获得的信息量是多少？首先，假定它们被固定在 y_1^*，$y_1^*+dy_1^*$；$\cdots y_m^*$，$y_m^*+dy_m^*$ 之间。让我们取 x_1，x_2，$\cdots$，x_{n-m}，y_1，y_2，$\cdots y_m$ 作为新的变数集合。这时，对新的变数集，我们的分布函数在 $y_1^*\leqslant y_1\leqslant y_1^*+dy_1^*$，$\cdots y_m^*\leqslant y_m\leqslant y_m^*+dy_m^*$ 决定的区域 R 上将与 $f(x_1,\cdots,x_n)$ 成正比，而在 R 以外为零。因此，由于规定 y 而获得的信息量为

$$\frac{\underbrace{\int dx_1\cdots\int}_{R} dx_n f(x_1,\cdots,x_n)\log_2 f(x_1,\cdots,x_n)}{\underbrace{\int dx_1\cdots\int}_{R} dx_n f(x_1,\cdots,x_n)}$$

$$-\int_{-\infty}^{\infty}dx_1\cdots\int_{-\infty}^{\infty}dx_n f(x_1,\cdots,x_n)\log_2 f(x_1,\cdots,x_n)$$

$$=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}dx_1\cdots\int_{-\infty}^{\infty}dx_{n-m}\left|J\begin{pmatrix}y_1^*,\cdots,y_m^*\\ x_{n-m+1},\cdots,x_n\end{pmatrix}\right|^{-1}f(x_1,\cdots,x_n)\log_2 f(x_1,\cdots,x_n)}{\int_{-\infty}^{\infty}dx_1\cdots\int_{-\infty}^{\infty}dx_{n-m}\left|J\begin{pmatrix}y_1^*,\cdots,y_m^*\\ x_{n-m+1},\cdots,x_n\end{pmatrix}\right|^{-1}f(x_1,\cdots,x_n)}$$

$$-\int_{-\infty}^{\infty}dx_1\cdots\int_{-\infty}^{\infty}dx_n f(x_1,\cdots x_n)\log_2 f(x_1,\cdots,x_n). \qquad (3.13)$$

(3.13)式的推广问题与下一问题有密切关系：在上述场合下，仅仅关于变数 x_1，$\cdots$，x_{n-m} 的信息是多少？我们知道，这些变数的事前几率密度为

$$\int_{-\infty}^{\infty}dx_{n-m+1}\cdots\int_{-\infty}^{\infty}dx_n f(x_1,\cdots,x_n); \qquad (3.14)$$

固定 y^* 后，未规格化的几率密度为

$$\Sigma\left|J\begin{pmatrix}y_1^*,\cdots,y_m^*\\ x_{n-m+1},\cdots,x_n\end{pmatrix}\right|^{-1}f(x_1,\cdots,x_n) \qquad (3.141)$$

式中 Σ 表示对相应于给定一组 y^* 的所有 $(x_{n-m+1},\cdots,x_n)$ 点集求和。在这个基础上，我们很容易就能写下问题的解答，虽然它少许

长些。如果把集$(x_1,\cdots,x_{n-m})$当作广义消息；把集$(x_{n-m+1},\cdots,x_n)$当作广义噪声；把y^*当作被干扰后的广义消息，我们看到，我们给出了推广(3.13)问题的解。

这样，我们至少在形式上得到了推广前面提到的消息噪声问题的解。一组观测可以和一组已知其联合分布的消息和噪声具有任意的关系。我们要确定的是这些观察提供我们多少仅仅关于消息的信息。这是通讯工程的中心问题。根据这个问题，我们能够评价调幅、调频或调相这类不同的调制方法，以至它们在传递信息方面的效率。这是个技术问题，这里不适宜作详细讨论；但多少还要说一说。首先，我们能证明：根据前面的信息定义，如果天空中杂乱"天电"的功率具有均匀的频率分布，如果消息被限制在一定的频带内，而且在这频带内的输出功率也是一定的，则任何传递信息的方法都没有调幅方法的效率大，虽然其它方法也可以达到同样的效率。但是，对于用耳或任何其它给定的接受器来接受说，用调幅方法传递信息不一定是最适当的形式。这里，我们必须建立一个和上述理论极其类似的理论，来考虑耳和其他接受器的特殊性质。一般说，为了有效地使用调幅或任何其他的调制形式，必须辅助使用一个适当的译码装置，以便把收到的信息变换为适合人的接收器或机械接收器接收的形式。同样，原来的消息也必须代码化，以便用最压缩的形式传递出去。这个问题在贝尔电话研究所设计伏考德系统时就已经解决了，至少部分地解决了，有关的一般理论也已由这个研究所的申农博士以非常令人满意的形式提了出来①。

测量信息的定义和方法就是如此。下面我们来讨论一种可以使信息具有对时间均匀的形式的方法。我们知道，电话和其他通信工具在实际上大都不依赖于特定的时间原点。诚然，有一种操作似

① 详见 C. E. Shannon,"The mathematical Theory of Communication",Univ,of Illinois Press,1949.——日译者注。

乎与此矛盾，但其实不是这样。这是指调制操作。最简单的调制形式是把消息 $f(t)$ 变换为 $f(t)\sin(at+b)$ 的形式。但是，如果我们把因子 $\sin(at+b)$ 当作插进装置中的额外消息，这种情况就可以归入上述一般理论的范围加以讨论。我们称为载波的这个额外消息，并不使通讯系统的单位时间信息输送量有任何增加。它所包含的全部信息在任意短的时间间隔内被传递出去，以后，就不再有什么新的信息了。

因此，一个时间上均匀的消息，或者如统计学家所称的，一个处在统计平衡的时间序列，就是这样的一个时间函数或时间函数集：它是由许多这种函数集构成的系综中的一个元，系综中每个元都有一可定义的几率，而且当时间 t 变为 $t+\tau$ 时，这几率分布不变。就是说，如果 T^{λ} 是使 $f(t)$ 变为 $f(t+\lambda)$ 的运算子，则系综的几率对于 T^{λ} 构成的变换群保持不变。这个群满足性质：

$$T^{\lambda}[T^{\mu}f(t)] = T^{\mu+\lambda}f(t)(-\infty<\lambda<\infty,\ -\infty<\mu<\infty). \tag{3.15}$$

由此可知，如果 $\Phi\{f(t)\}$ 是 $f(t)$ 的泛函（即一依赖于 $f(t)$ 在 t 由 $-\infty$ 到 ∞ 中的全部历史的数），且 $f(t)$ 对整个系综的平均是有限的，我们就可以引用上一章的贝克荷夫各态历经定理而得出结论：除了对几率为零的 $f(t)$ 的数值集以外，$\Phi\{f(t)\}$ 的时间平均

$$\lim_{A\to\infty}\frac{1}{A}\int_0^A \Phi\{f(t+\tau)\}d\tau = \lim_{A\to\infty}\frac{1}{A}\int_{-A}^0 \Phi\{f(t+\tau)\}d\tau \tag{3.16}$$

是存在的。

此外还有一结果。我们在上一章讲到过另一个由冯·诺意曼提出的关于各态历经理论的定理，这个定理说，如果一系统在保测变换群(3.15)作用下仍变为自身，则除了对几率为 0 的元以外，系统的任一个元都属于在同一变换群作用下仍变为自身的某一子集

（可以是整个系统自身），这子集具有一定义在自身上的测度，它在上述变换群作用下也保持不变；此外，这子集还有如下的性质：如果它的任一部分具有对上述变换群保持不变的测度，则这测度或者等于整个子集的测度，或者为零①。如果我们不考虑所有不属于这子集② 的元，并使用它的适当的测度，我们将发现，时间平均(3.16)几乎在所有情况下都是$\Phi\{f(t)\}$在整个$f(t)$函数空间上的平均，即所谓相平均。因此，在上述函数$f(t)$的系综的场合，除了对几率为零的情形，我们都能用时间平均代替相平均的方法，根据系综中任一时间序列的记录，以求出系综的任一统计参数的平均——实际上我们能同时求出系综的任一可数统计参数集。而且，我们几乎只要知道这些时间序列中的任何一个序列的过去就够了。换句话说，当给定已知属于一统计平衡系综的某一时间序列在现在以前的全部历史时，我们就能以误差几率为零的精度计算出该时间序列所属的统计平衡系综的整个统计参数集。上面表述的理论都是对简单时间序列而言的；但这些理论对于具有几个同时变化的变量而非具有一个变量的多重时间序列同样正确。

我们现在可以用上述理论来讨论有关时间序列的各种问题了。我们只限于考虑如下场合的时间序列：它的全部过去能够用可

---

① 如果把在这里所讲的事用符号来写便成为下面这样：把Ω作为函数的系综(ensemble)的全体，把N作为“除外系综”。Ω中有测度m的定义$m(N)=0$，$\Omega-N$分为所谓“各态历经部分”Ω_λ的值和。Ω_λ对于保测变换群不变，而且有不变测度m_λ，如果Ω_λ的部分系综M_λ对于F不变，则$m_\lambda(M_\lambda)=m_\lambda(\Omega_\lambda)$或者0。 —日译者注。

② 即$f\notin N$，因之对于某λ是$f\in\Omega_\lambda$，作为测度而使用m_λ（m_λ对于Ω_λ的部分系综以外的Ω的任意的部分系综M，同时都是$m_\lambda(M)=0$）。Ω_λ是各态历经的，所以用m_λ测量把测度为0的$f\in\Omega_\lambda$除去，(3.16)便等于

$\int_{\Omega\lambda}\Phi(f(t))m_\lambda(df)$。——日译者注。

数个量的集决定。例如，对于范围很广的一类函数 $f(t)(-\infty<t<+\infty)$，当已知一组量

$$a_n = \int_{-\infty}^{0} e^t t^n f(t) \mathrm{d}t \quad (n = 0,1,2,\cdots) \tag{3.17}$$

时，f 就完全被决定。令 A 为未来的 t 值的某一函数，即 A 为大于零的 t 值的函数。于是，当函数 f 集① 在最窄狭可能的意义上被取定时，我们就能根据几乎任意一个时间序列的过去来决定 $(a_0, a_1, \cdots, a_n, A)$ 的同时分布。特别，如果 $a_0, \cdots, a_n$ 全部给定，A 的分布就可以决定。这里，我们要用到尼可杜(Nikodym)关于条件几率的著名定理。由这个定理可知，在很普遍的情况下，这分布当 $n\to\infty$ 时收敛到一极限，而这个极限分布将提供我们关于任一未来量分布的全部知识。同样，如果知道了过去，我们就可以决定任何一组未来量的数值的同时分布，或任何一组决定于过去和未来两方面的量的数值的同时分布。因此，如果我们对任何统计参数或统计参数集的"最优值"都能作出适当的解释——多半是在平均值或中值或众值的意义上，我们就能由这个已知分布把它们计算出来，得到一个就其优良程度而言能够满足我们所要求的预测准则的预测。我们能够用任意的统计估计方法——均方误差或最大误差或平均绝对误差等等，来计算这预测的价值。我们能够计算因固定过去而提供我们的关于任一统计参数或统计参数集的信息量。由关于过去的知识，我们甚至能计算某一瞬间以后全部未来的总信息量。由于我们一般地能够由过去推知未来，所以，即使上述的瞬间就是现在，我们关于现在的知识中也会包含无限大的信息量。

另一有趣的情形是多重时间序列的情形，在这情形下，我们仅仅精确地知道它的若干成分的过去。任何一个不仅仅依赖于这些

---

① 意思是在上面所说的时间平均一相平均能使用的那种统计的平衡的系综中选取出来的 f。——日译者注。

过去的量的分布，都能用十分类似上述的方法来研究。特别，我们可以推知其他成分的数值或其他一组成分的数值集在过去、现在或未来某一瞬间的分布。滤波器的一般问题就属于这一类问题。假定消息和噪声以一定方式混合为一个被扰乱了的消息，而我们知道这被扰乱消息的过去。我们也知道作为时间序列的这消息和噪声的统计联合分布。现在要求过去、现在或未来某一瞬间的消息分布。就是说，我们要求出一个作用于被扰乱消息的过去的运算子，它能在一定的统计意义上最优地给出真实的消息。我们可以得到一个估计消息的误差程度的统计估计方法。最后，我们可以计算由这消息获得的信息量。

下面一种时间序列系综特别简单而重要。这就是布朗运动的时间序列系综。布朗运动是气体中粒子受到其他作热运动的粒子的无规则碰撞而产生的一种运动。这方面的理论是由爱因斯坦、斯莫路绰斯基、皮林和作者[①]等许多学者发展起来的。在布朗运动的场合，除非我们采取的时间间隔非常小，使得粒子之间的个别碰撞都能一一分辨出来，否则粒子的运动将呈现一种奇妙的不可微性。在给定时间内，粒子在任一给定方向上位移的平方平均和时间长度成正比，而且在相继各时间间隔内的运动彼此完全不相关。这和物理观测的结果非常符合。如果我们把布朗运动的标度规格化为时间标度，而且只考虑运动在坐标 x 上的分量，并假设 $x(t)$ 在 $t=0$ 时等于 0，则当 $0\leqslant t_1\leqslant t_2\leqslant\cdots\leqslant t_n$ 时，粒子在时间 t_1 落在 x_1 到 x_1+dx_1 之间，……，在时间 t_n 落在 x_n 到 x_n+dx_n 之间的几率为

① Paley, R. E. A. C. 和 Wiener, N., "Fourier Transforms in the Complex Domain". Colloquium Publications, Vol. 19, *American Math. Soc*, New York, 1934, Chapter.

$$\frac{\exp\left(-\frac{x_1^2}{2t_1}-\frac{(x_2-x_1)^2}{2(t_2-t_1)}-\cdots-\frac{(x_n-x_{n-1})^2}{2(t_n-t_{n-1})}\right)}{\sqrt{|(2\pi)^n t_1(t_2-t_1)\cdots(t_n-t_{n-1})|}}dx_1\cdots dx_n.$$

(3.18)

在与此对应的有确定值的这个几率系统的基础上，我们能够用一个介于 0 到 1 之间的参数 α 来表示各种可能的布朗运动路径的集合，每一路径表示为一函数 $x(t,\alpha)$，这里，x 由时间 t 和分布参数 α 决定（任一路径含于某一集 S 的几率等于 S 中相应路径的 α 值的集合的测度）。这样一来，几乎所有的路径都是连续的，但是不可微的。

决定 $x(t_1,\alpha)\cdots x(t_n,\alpha)$ 对 α 的平均，是一个很有趣的问题，在 $0\leqslant t_1\leqslant\cdots\leqslant t_n$ 的假定下，这个平均是

$$\int_0^1 d\alpha x(t_1,\alpha)x(t_2,\alpha)\cdots x(t_n,\alpha)$$

$$=(2\pi)^{-\frac{n}{2}}[t_1(t_2-t_1)\cdots(t_n-t_{n-1})]^{-\frac{1}{2}}\times$$

$$\times\int_{-\infty}^{\infty}d\xi_1\cdots\int_{-\infty}^{\infty}d\xi_n\cdot\xi_1\xi_2\cdots\xi_n\exp\left(-\frac{\xi_1^2}{2t_1}-\frac{(\xi_2-\xi_1)^2}{2(t_2-t_1)}-\right.$$

$$\left.-\cdots-\frac{(\xi_n-\xi_{n-1})^2}{2(t_n-t_{n-1})}\right). \quad (3.19)$$

令

$$\xi_1\cdots\xi_n=\sum A_k\xi_1^{\lambda}k,1(\xi_2-\xi_1)^{\lambda}k,2\cdots(\xi_n-\xi_{n-1})^{\lambda}k,n,$$

(3.20)

式中 $\lambda_{k,1}+\lambda_{k,2}+\cdots+\lambda_{k,n}=n$. (3.19)式的值将变为

$$\sum A_k(2\pi)^{-\frac{n}{2}}[t_1^{\lambda}k,1(t_2-t_1)\lambda_k,2\cdots(t_n-t_{n-1})\lambda_k,n]^{-\frac{1}{2}}\times$$

$$\times\prod_j\int_{-\infty}^{\infty}d\xi\cdot\xi^{\lambda}k,je^{-\frac{\xi^2}{2(t_j-t_{j-1})}}$$

$$=\sum A_k\prod_j\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\xi\pi_k,je^{-\frac{\xi^2}{2}}\cdot d\xi(t_j-t_{j-1})^{-\frac{1}{2}}$$

$$=\begin{cases}0,\text{若任一 }\lambda_{k,j}\text{ 为奇数;}\\ \sum_k A_k\prod_j(\lambda_{k_i}-1)(\lambda_{k,j}-3)\cdots5\cdot3\cdot(t_j-t_{j-1})^{-\frac{1}{2}}\end{cases}$$

(3.21)

若每一 $\lambda_{k\cdot1}$ 都为偶数，$=\sum_k A_k\prod_j$（把 $\lambda_{k,j}$ 个项划分成对的方法的数目）$\times(t_j-t_{j-1})^{-\frac{1}{2}}=\sum_k A_k$（把 n 个项按如下方式划分成对的方法的数目：使 $n=\sum\lambda_{k,j}$，并把它分成 $\lambda_{k,j}$ 个项的组的时候，被划分好的任何一对的双方都属于同一个组）$\times(t_j-t_{j-1})^{-\frac{1}{2}}$，$=\sum_j A_j\sum\prod\int_0^1 d\partial[x(t_k,\partial)-x(t_{k-1},\partial)]\times[x(t_q,\partial)-x(t_{q-1},\partial)]$①，式中第一个 $\sum$ 是对 j 求和；第二个 $\sum$ 是对所有把 n 项分成相应个数目为 $\lambda_{k\cdot1}\lambda_{k\cdot2},\cdots\lambda_{k\cdot n}$ 的块后再分成一对对的方法求和；Π 是对如下的 k 和 q 的数值对取积：其中从 t_k 及 t_q 选出的 $\lambda_{k\cdot1}$ 元素是 t_1，$\lambda_{k\cdot2}$ 是 t_2，以下类推。由此直接得出如下结果：

$$\int_0^1 d\partial x(t_1,\partial)x(t_2,\partial)\cdots x(t_n,\partial)$$

$$=\Sigma\Pi\int_0^1 d\partial x(t_j,\partial)x(t_k,\partial),\tag{3.22}$$

式中 Σ 是对所有把 $t_1,\cdots t_n$ 划分为不同对的划分方法求和，Π 是对

① $\int_0^1 d\partial[x(t_k,\partial)-x(t_{k-1},\partial)][x(t_q,\partial)-x(t_{q-1},\partial)]=\int_0^1 d\partial[x(t_k,-t_{k-1},\partial)x(t_q-t_{q-1},\partial)]$ 这个式子在 $k\neq q$ 的时候等于 0［对于相异的区间 (t_{k-1},t_k) 和 (t_{q-1},t_q) 来说，$x(t_k-t_{k-1},\partial)$ 和 $x(t_q-t_{q-1},\partial)$ 是独立的，因为各个的平均值都是 0］，如果 $k=q$，则上式

$=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\xi^2\frac{1}{\sqrt{t_k-t_{k-1}}}\exp\left(\frac{\xi^2}{2(t_k-t_{k-1})}\right)d\xi=(t_k-t_{k-1})$。——日译者注。

每一种划分中所有的对取积。换句话说，当我们知道一对一对 $x(t_j,\alpha)$ 的乘积的平均时，我们就知道 $x(t_j,\alpha)$ 的所有多项式的平均，因而也就知道它们的整个统计分布。

以上我们考虑的是 t 为正的布朗运动 $x(t,\alpha)$。如果令

$$\begin{cases}\xi(t,\alpha;\beta) = x(t,\alpha) \quad (t \geqslant 0);\\ \xi(t,\alpha,\beta) = x(-t,\beta) \quad (t < 0),\end{cases} \tag{3.23}$$

式中 α 和 β 彼此独立地均匀分布在(0,1)，我们就得到 t 跑过整个实数轴的 $\xi(t,\alpha,\beta)$ 的分布。有一种大家都知道的数学方法，能把一个正方形映像到一线段上，使得面积变为长度。为此我们只须将正方形内各点的坐标写为十进位制形式：

$$\alpha = 0.\alpha_1\alpha_2\cdots\alpha_n\cdots;\beta = 0.\beta_1\beta_2\cdots\beta_n\cdots; \tag{3.24}$$

并令

$$\gamma = 0.\alpha_1\beta_1\alpha_2\beta_2\cdots\alpha_n\beta_n;$$

这样我们就得到上述性质的映像：线段上的点和正方形中的点几乎是一一对应的。利用这种变换，我们定义

$$\xi(t,\gamma) = \xi(t,\alpha,\beta). \tag{3.25}$$

现在我们要来定义

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t)d\xi(t,\gamma). \tag{3.26}$$

显然，我们应当把它定义为斯蒂尔脱耶斯积分①；但 ξ 是 t 的非常不规则函数，因此直接作这样的定义是不可能的事。然而，如果当 $t\to\infty$ 时 K 足够快地趋于零，而且是足够光滑的函数，我们就有理由考虑其部分积分

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t)d\xi(t,\gamma) = -\int_{-\infty}^{\infty} K'(t)\xi(t,\gamma)dt. \tag{3.27}$$

---

① Stieltjes, "*Annales de la Fac. des Sc. de Toulouse*", 1894, p. 165; Lebesgue, H. . *Lecons sur L'Int' egration* , Gauthier-Villars et Cie, Paris, 1928.

在这些条件下，我们形式上有

$$\int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K_1(t) d\xi(t,\gamma) \int_{-\infty}^{\infty} K_2(t) d\xi(t,\gamma)$$

$$= \int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K'_1(t)\xi(t,\gamma) dt \int_{-\infty}^{\infty} K'_2(t)\xi(t,\gamma) dt$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} K'_1(s) ds \int_{-\infty}^{\infty} K'_2(t) dt \int_0^1 \xi(s,\gamma)\xi(t,\gamma) d\gamma. \quad (3.28)$$

如果 s 和 t 的符号相反，则

$$\int_0^1 \xi(s,\gamma)\xi(t,\gamma) d\gamma = 0; \quad (3.29)$$

但如果符号相同，且 $|s|<|t|$，则

$$\int_0^1 \xi(s,\gamma)\xi(t,\gamma) d\gamma = \int_0^1 \lambda(|s|,\alpha)\dot{x}(|t|,\alpha) d\alpha$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{|s|(|t|-|s|)}} \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{d}u \int_{-\infty}^{\infty} dv \cdot uv \exp \left(-\frac{u^2}{2|s|} - \frac{(v-u)^2}{2(|t|-|s|)}\right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} u^2 \exp(-\frac{u^2}{2|s|}) du$$

$$= |s| \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} u^2 \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = |s|. \quad (3.30)$$

因此，

$$\int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K_1(t) d\xi(t,\gamma) \int_{-\infty}^{\infty} K_2(t) d\xi(t,\gamma)$$

$$= -\int_0^{\infty} K'_1(s) ds \int_0^s t K'_2(t) dt - \int_0^{\infty} K'_2(s) ds \int_0^s t K'_1(t) dt +$$

$$+ \int_{-\infty}^0 K'_1(s) ds \int_s^0 t K'_2(t) dt + \int_{-\infty}^0 K'_2(s) ds \int_{\infty}^0 t K'_1(t) dt$$

$$= \int_0^{\infty} K'_1(s) ds \left(s K_2(s) - \int_0^s K_2(t) dt \right) -$$

$$-\int_0^{\infty}K'_2(s)ds\left(sK_1(s)-\int_0^s K_1(t)dt\right)+$$

$$+\int_{-\infty}^{0}K'_1(s)ds\left(-sK_2(s)-\int_s^0 K_2(t)dt\right)+$$

$$+\int_{-\infty}^{0}K'_2(s)ds\left(-sK_1(s)-\int_s^0 K_1(t)dt\right)$$

$$=-\int_{\infty}^{\infty}sd[K_1(s)K_2(s)]=\int_{\infty}^{\infty}K_1(s)K_2(s)ds. \quad (3.31)$$

特别，

$$\int_0^1 d\gamma\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau_1)d\xi(t,\gamma)\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau_2)d\xi(t,\gamma)$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}K(s)K(s+\tau_2-\tau_1)ds. \quad (3.32)$$

而且，

$$\int_0^1 d\gamma\prod_{k=1}^{m}\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau_k)d\xi(t,\gamma)$$

$$=\sum\prod\int_{-\infty}^{\infty}K(s)K(s+\tau_j-\tau_k)d_s, \quad (3.33)$$

式中$\sum$是对把$\tau_1,\cdots,\tau_n$划分成对的所有划分方法求和，$\prod$是对每种划分中的各对取积。

表示式

$$\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau)d\xi(\tau,\gamma)=f(t,\gamma) \quad (3.34)$$

是一个依赖于分布参数γ的变数t的十分重要的时间序列系综。以上的证明可总结如下：$f(t,\gamma)$分布的所有统计参数都依赖于函数

$$\Phi(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}K(s)K(s+\tau)ds$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}K(s+t)K(s+t+\tau)ds. \quad (3.35)$$

这个函数就是统计学家称为的自相关函数。因此，$f(t,\gamma)$分布的统

计和 $f(t+\tau,\gamma)$分布的统计相同；事实上，我们可以证明，如果

$$f(t+t_1,\gamma)=f(t,\Gamma), \tag{3.36}$$

则从 γ 到 Γ 的变换是保测变换。换句话说，时间序列 $f(t,\gamma)$处在统计平衡中。

而且，如果我们考虑平均

$$\left[\int_{-\infty}^{\infty}K(t-\tau)d\xi(t,\gamma)\right]^{m}\left[\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\sigma-\tau)d\xi(t,\gamma)\right]^{n}, \tag{3.37}$$

它正好包括

$$\int_0^1 d\gamma\left(\int_{-\infty}^{\infty}K(t-\tau)d\xi(t,\gamma)\right)^{m}\int_0^1 d\gamma\left(\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\sigma-\tau)d\xi(t,\gamma)\right)^{n} \tag{3.38}$$

中的项以及

$$\int_{-\infty}^{\infty}K(\sigma+\tau)K(\tau)d\tau \tag{3.39}$$

的自乘作为因子的有限个项；如果(3.39)在 $\sigma\to\infty$时趋于 0，则(3.38)将是(3.37)的极限。换句话说，当 $\sigma\to\infty$时，$f(t,\gamma)$分布和 $f(t+\sigma,\gamma)$分布是趋近不相关的。用更普遍的但完全类似的方法，我们能证明，$f(t_1,\gamma),\cdots,f(t_n,\gamma)$和 $f(\sigma+s_1,\gamma),\cdots,f(\sigma+s_m,\gamma)$的同时分布当 $\sigma\to\infty$时趋于第一组和第二组分布的联合分布。换句话说，任一依赖于 t 的函数 $f(t,\gamma)$的整个数值分布的有界可测泛函或有界可测量(可以把它写成 $\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}$的形式)，都一定具有下列性质：

$$\lim_{\sigma\to\infty}\int_0^1 L\{f(t,\gamma)\}\mathfrak{F}\{f(t+\sigma,\gamma)\}d\gamma=\left[\int_0^1\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}d\gamma\right]^2. \tag{3.40}$$

如果 $\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}$对 t 的平移不变，而且它只取 0 或 1 的值，则我们有

$$\int_0^1\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}d\gamma=\left[\int_0^1\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}d\gamma\right]^2, \tag{3.41}$$

因而 $f(t,\gamma)$ 到 $f(t+\sigma,\gamma)$ 的变换群是度量可迁群。由此可知，如果 $\mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}$ 是 f 的任一作为 t 的函数的可积泛函，则根据各态历经定理，除了对测度为 0 的 γ 集以外，对其他所有的 γ 值，我们有

$$\int_0^1 \mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}d\gamma = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T \mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}dt = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T}^0 \mathfrak{F}\{f(t,\gamma)\}dt \tag{3.42}$$

这就是说，我们几乎完全能根据时间序列系综中某一个例样的过去历史，读取这时间序列的任一统计参数，甚至读取任一统计参数的可列集。实际上，对于这时间序列，当我们知道

$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T}^0 \{f(t,\gamma)\}f(t-\tau,\gamma)dt \tag{3.43}$$

时，我们就知道几乎每一场合的 $\Phi(t)$，因而就有了关于这时间序列的完备的统计知识。

有一些由这种时间序列决定的量具有十分有趣的性质。特别，我们求

$$\exp\left(i\int_{-\infty}^{\infty}K(t)d\xi(t,\gamma)\right) \tag{3.44}$$

的平均值是很有趣的。形式上，这个平均值可以写成

$$\begin{aligned}&\int_0^1 \mathrm{d}r\sum_{n=0}^{\infty}\frac{i^n}{n!}\left[\int_{-\infty}^{\infty}K(t)d\xi(t,\gamma)\right]^n\\ &=\sum_m \frac{(-1)^m}{(2m)!}\left[\int_{-\infty}^{\infty}[K(t)]^2dt\right]^m(2m-1)(2m-3)\cdots 5\cdot 3\cdot 1\\ &=\sum_m^{\infty}\frac{(-1)^m}{2^m m!}\left[\int_{-\infty}^{\infty}[K(t)]^2dt\right]^m\\ &=\exp\left[-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[K(t)]^2dt\right].\end{aligned} \tag{3.45}$$

用简单的布朗运动序列来建立一个尽可能一般的时间序列，

也是一个很有趣的尝试的问题。富里埃展开的例子提示我们，在作这个尝试时，像(3.44)那样的展开式是一个适合这目的的很方便的组成要素。现在让我们来研究下列特殊形式的时间序列：

$$\int_a^b d\lambda \exp\left[i\int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau,\lambda)d\xi(\tau,\gamma)\right]. \tag{3.46}$$

假定我们已知(3.46)式和其中的 $\xi(\tau,\gamma)$，则如(3.45)的情形一样，如果 $t_1>t_2$，我们有

$$\int_0^1 d\gamma \exp[is(\xi(t_1,\gamma)-\xi(t_2,\gamma))]\times$$

$$\times\int_a^b d\lambda \exp\left[i\int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau,\lambda)d\xi(t,\gamma)\right]$$

$$\int_a^b d\lambda \exp\left[-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[K(t+\tau,\lambda)]^2dt-\frac{s^2}{2}(t_2-t_1)-s\int_{t_2}^{t_1}K(t,\lambda)dt\right] \tag{3.47}$$

以 $e^{\frac{s^2(t_2-t_1)}{2}}$ 乘以上式两端，并令 $s(t_2-t_1)=i\sigma$，然后使 t_2-t_1，则得

$$\int_a^b d\lambda \exp\left[-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[K(t+\tau,\lambda)]^2dt-i\sigma K(t_1,\lambda)\right]. \tag{3.48}$$

我们以 $K(t_1,\lambda)$ 作为一新的独立变数 μ，并解出 λ，得

$$\lambda=Q(t_1,\mu). \tag{3.49}$$

于是(3.48)变为

$$\int_{K(t_1,a)}^{K(t_1,b)} e^{i\mu\sigma}d\mu\frac{\partial Q(t_1,\mu)}{\partial\mu}\exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\{K[t+\tau,Q(t_1,\mu)]\}^2dt\right). \tag{3.50}$$

运用富里埃变换，我们由上式能将

$$\frac{\partial Q(t_1,\mu)}{\partial\mu}\exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\{K[t+\tau,Q(t_1,\mu)]\}^2dt\right) \tag{3.51}$$

表示为 μ 的函数，当 μ 是在 $K(t_1,a)$ 和 $K(t_1,b)$ 之间变动时，如果

把这个函数对 μ 积分，则得

$$\int_a^\lambda d\lambda \exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[K(t+\tau,\lambda)]^2 dt\right), \tag{3.52}$$

它是 $K(t_1,\lambda)$ 和 t_1 的函数。这就是说，存在一已知函数 $F(u,v)$，使得

$$\int_a^\lambda d\lambda \exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[K(t+\tau,\lambda)]^2 dt\right) = F(K(t_1,\lambda),t_1). \tag{3.53}$$

由于上式左端与 t_1 无关，我们可以把它写作 $G(\lambda)$，而得到

$$F(K(t_1,\lambda),t_1) = G(\lambda) \tag{3.54}$$

式中 F 是一已知函数，我们可以解出它的第一个变数，而得到

$$K(t_1,\lambda) = H(G(\lambda),t_1), \tag{3.55}$$

式中 $H(u,v)$ 也是一已知函数。于是我们有

$$G(\lambda) = \int_0^\lambda d\lambda \exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[H(G(\lambda),t+\tau)]^2 dt\right). \tag{3.56}$$

因此，函数

$$\exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[H(u,t)]^2 dt\right) = R(u) \tag{3.57}$$

是一已知函数，而且

$$\frac{dG}{d\lambda} = R(G), \tag{3.58}$$

即

$$\frac{dG}{R(G)} = d\lambda, \tag{3.59}$$

或

$$\lambda = \int \frac{dG}{R(G)} + 常数 = S(G) + 常数. \tag{3.60}$$

这个常数由下式定出：

$$G(a) = 0 \tag{3.61}$$

或

$$a = S(0) + \text{常数}. \tag{3.62}$$

不难看出，如果 a 是有限的，它取任何值都可以，因为在任一 λ 的数值上加上一个常数时以上的计算不受影响。因此，我们可以令(3.62)中的常数为 0。这样，λ 作为 G 的函数就被决定，因而 G 作为 λ 的函数也被决定。于是，由(3.55)我们就能决定 $K(t,\lambda)$。为了决定(3.46)式，我们只需要知道 b。但是比较以下两式就能定出 b：

$$\int_a^b d\lambda \exp\left(-\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}[\dot{K}(t,\lambda)]^2 dt\right) \tag{3.63}$$

和

$$\int_0^1 d\gamma \int_a^b d\lambda \exp\left\{i\int_{-\infty}^{\infty} K(t,\lambda)d\xi(t,\gamma)\right\}. \tag{3.64}$$

因此，在一定条件下(这些条件需要严格地加以陈述)，如果一时间序列可写成(3.46)的形式，同时又知道 $\xi(t,\lambda)$，则除了 a、λ 和 b 附加的未定常数以外，(3.46)中的函数 $K(t,\lambda)$ 和数 a 及 b 都能决定。即使当 $b=+\infty$ 时，我们也不会有什么困难。当然，不难把上述讨论推广到 $a=-\infty$ 的情形。虽然目前还需要研究其反函数不是单值的那些函数的问题，以及其相应展开能否有效的普遍条件；但我们至少在解决把很大一类时间序列简化为典型形式的问题上向前跨进了一步，而这一点，如本章前面所大略提到的，对于预测理论和信息测量理论具有头等重要的意义。

在上述研究时间序列理论的途径上，我们还应当取消一个明显的限制。这个限制就是：我们必须已知 $\xi(t,\lambda)$，而且所考虑的时间序列必须能展成(3.46)的形式。这个问题就是：在什么条件下，我们才能把一个已知某统计参数的时间序列表成一个布朗运动的时间序列，或者，至少把它表成这种或那种意义上的布朗运动时间序列的极限？我们将限于考虑具有度量可迁性质的时间序列，甚至具有更强的性质的时间序列：如果我们取出相距很远的，有固定长度的各时间段，在各时间段中的时间序列的任何泛函的分布彼此

是近于无关的，就像各时间段彼此无关那样①。应当在这方面发展的理论已经大体上由作者完成了。

如果 $K(t)$ 是一充分连续的函数，则由卡斯 Kac 定理，我们能够证明，

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau)d\xi(\tau,\gamma) \tag{3.65}$$

的零点几乎总是具有确定的密度，面且，适当地选取 K，能够使这密度任意的大。令选择的 K 为 K_D，使得这密度为 D。我们用 $Z_n(D,\gamma)$ 表示 $\int_{-\infty}^{\infty} K_D(t+\tau)d\xi(\tau,\gamma)$ 由 $-\infty$ 到 ∞ 的零点序列，$-\infty<n<\infty$。当然，在决定这些零点时，我们所确定的 n 附加了一整常数。

令 $T(t,\mu)$ 为连续变数 t 的任一时间序列，而 μ 是这时间序列的分布参数，均匀分布在(0,1)上。再令

$$T_D(t,\mu,\gamma) = T[t - Z_n(D,\gamma),\mu], \tag{3.66}$$

式中的 Z_n 取正好先于 t 的一个零点。可以证明，对于 t 数值的任何有限集 $t_1, t_2, \cdots, t_v$，$T_D(t_k,\mu,\gamma)(k=1,2,\cdots,v)$ 的同时分布当 $D\to\infty$ 时几乎对所有的 μ 值都趋于同一 t_k 的 $T(t_k,\mu)$ 的同时分布。但是，$T_D(t,\mu,\gamma)$ 完全由 t,μ,D 和 $\xi(\tau,\gamma)$ 决定。因此，对于给定的 D 和 μ，把 $T_D(t,\mu,\gamma)$ 直接表示为(3.46)形式的时间序列，或者用这种或那种方法把它表示为具有(3.46)形式的分布的极限分布（在上述的广泛意义上）的时间序列，都不是不适当的尝试。

必须承认，这是一个有待将来来完成的研究，而不应当认为它就已经完成了。但是，照作者看来，为了合理而无矛盾地处理许多和非线性预测、非线性滤波、非线性情况下信息传递的估价、高密度气体理论和湍流理论等有关的问题，进行这个研究是最有希望

① 这就是柯普曼的混合性，它是证明统计学各态历经假设的充分和必要条件。

的。上述这些问题也许都是通讯工程中最迫切需要解决的。

我们现在来讨论(3.34)形式的时间序列的预测问题。我们看到，这种时间序列的一个唯一的独立统计参数是 $\Phi(t)$，即(3.35)式；这意味和 K 相关连的唯一有意义的量是

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+t)ds. \tag{3.67}$$

式中 K 当然取实数值。

我们作富里埃变换

$$K(s)=\int_{-\infty}^{\infty} k(\omega)e^{i\omega s}d\omega. \tag{3.68}$$

知道 $K(s)$ 后就能知道 $k(\omega)$，反之亦真。于是，

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+\tau)ds=\int_{-\infty}^{\infty} k(\omega)k(-\omega)e^{i\omega\tau}d\omega. \tag{3.69}$$

因此，关于 $\Phi(\tau)$ 的知识和关于 $k(\omega)k(-\omega)$ 的知识是等价的。但由于 $K(s)$ 取实数值，我们有

$$K(s)=\int_{-\infty}^{\infty} \overline{k(\omega)}e^{-i\omega s}d\omega \tag{3.70}$$

即 $k(\omega)=\overline{k(-\omega)}$. 因此，$|k(\omega)|^2$ 是一已知函数，这意味 $\log(k(\omega))$ 的实数部分是一已知函数。如果把这实数部分写成

$$F(\omega)=R\{\log(k(\omega))\}, \tag{3.71}$$

则决定 $K(s)$ 的问题就相当于决定 $\log(k(\omega))$ 的虚数部分的问题。这个问题的解一般是不定的，除非对 $k(\omega)$ 进一步加以一定限制。我们考虑如下形式的限制：对于上半平面的 ω 函数 $\log k(\omega)$ 是解析的，而且上升速度足够的小。为了满足这个限制条件，我们假设 $k(\omega)$ 和 $(k(\omega))^{-1}$ 在整个实数轴上是代数地增长。这时，$(F(\omega))^2$ 将是一偶函数，而且至多是对数地趋于无限大，并存在歌西主值

$$G(\omega)=\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{F(u)}{u-\omega}du. \tag{3.72}$$

由(3.72)决定的变换叫做希尔伯特变换，它把 $\cos\lambda\omega$ 变为 $\sin\lambda\omega$，把 $\sin\lambda\omega$ 变为 $-\cos\lambda\omega$。因此，$F(\omega)+iG(\omega)$是一形式为

$$\int_0^\infty e^{i\lambda\omega}d(M(\lambda)) \tag{3.73}$$

的函数，而且对应的 $\log|k(\omega)|$满足我们对它在下半平面的要求。令

$$k(\omega) = \exp(F(\omega) + iG(\omega)), \tag{3.74}$$

我们能证明：在很一般的条件下，函数 $k(\omega)$具有使(3.68)中定义的 $K(s)$对所有负的变数值为零的性质。因此，

$$f(t,\gamma) = \int_{-t}^\infty K(t+\tau)d\xi(\tau,\gamma). \tag{3.75}$$

另一方面，我们能证明：适当地决定 N_n 后，$1/k(\omega)$可以写成如下形式：

$$\lim_{n\to\infty}\int_0^\infty e^{i\lambda\omega}dN_n(\lambda); \tag{3.76}$$

而且，做到这点只需使

$$\xi(\tau,\gamma) = \lim_{n\to\infty}\int_0^\tau ds\int_{-t}^\infty Q_n(t+\sigma)f(\sigma,\gamma)d\sigma. \tag{3.77}$$

式中 Q_n 必须具有如下形式上的性质：

$$f(t,\gamma) = \lim_{n\to\infty}\int_{-t}^\infty K(t+\tau)d\tau\int_{-\tau}^\infty Q_n(\tau+\sigma)f(\sigma,\gamma)d\sigma. \tag{3.78}$$

一般说，我们有

$$\psi(t) = \lim_{n\to\infty}\int_{-t}^\infty K(t+\tau)d\tau\int_{-\tau}^\infty Q_n(\tau+\sigma)\psi(\sigma)d\sigma, \tag{3.79}$$

或者，如果像(3.68)那样写出

$$K(s) = \int_{-\infty}^\infty k(\omega)e^{is\omega}d\omega,$$

$$Q_n(s) = \int_{-\infty}^\infty q_n(\omega)e^{is\omega}d\omega$$

$$\Psi(s)=\int_{-\infty}^{\infty}\Psi(\omega)e^{is\omega}d\omega \tag{3.80}$$

则

$$\Psi(\omega)=\lim_{n\to\infty}(2\pi)^{3/2}\Psi(\omega)q_n(-\omega)k(\omega), \tag{3.81}$$

因此，

$$\lim_{n\to\infty}q_n(-\omega)=\frac{1}{(2\pi)^{3/2}k(\omega)} \tag{3.82}$$

这个结果对于求得一个在形式上与频率关联的而不是与时间关联的预测运算子很有用处。

这样，$\xi(t,\gamma)$的过去和现在(确切地说，"微分"$d\xi(t,\gamma)$的过去和现在)决定$f(t,\gamma)$的过去和现在，反之亦真。

如果$A>0$，则

$$\begin{aligned}f(t+A,\gamma)&=\int_{-t-A}^{\infty}K(t+A+\tau)d\xi(\tau,\gamma)\\&=\int_{-t-A}^{-t}K(t+A+\tau)d\xi(\tau,\gamma)+\\&\quad+\int_{-t}^{\infty}K(t+A+\tau)d\xi(\tau,\gamma).\end{aligned} \tag{3.83}$$

这里，最后表示式中的第一项依赖于$d\xi(\tau,\gamma)$的变程，但即使我们知道了$\sigma\leqslant t$的$f(\sigma,\gamma)$，也不能由此得到有关这变程的任何知识。第一项与第二项完全无关。它的均方值为

$$\int_{-t-A}^{-t}[K(t+A+\tau)]^2d\tau=\int_0^A[K(\tau)]^2d\tau, \tag{3.84}$$

这说明我们有关它的知识都是统计的。可以证明，均方值(3.84)是高斯分布。它是$f(t+A,\gamma)$的可能的最优预测的误差。

最优预测本身是(3.83)右端第二项，

$$\begin{aligned}&\int_{-t}^{\infty}K(t+A+\tau)d\xi(\tau,\gamma)\\&=\lim_{n\to\infty}\int_{-t}^{\infty}K(t+A+\tau)d\tau\int_{-\tau}^{\infty}Q_n(\tau+\sigma)f(\sigma,\gamma)d\sigma\end{aligned} \tag{3.85}$$

如果现在令

$$k_A(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\infty}K(t+A)e^{-i\omega t}dt, \tag{3.86}$$

并将运算子(3.85)应用于 $e^{i\omega t}$,则得

$$\lim_{n\to\infty}\int_{-t}^{\infty}K(t+A+\tau)d\tau\int_{-\tau}^{\infty}Q_n(\tau+\sigma)e^{i\omega\sigma}d\sigma=A(\omega)e^{i\omega t}; \tag{3.87}$$

这使我们得到(如同(3.81)那样)

$$\begin{aligned}A(\omega)&=\lim_{n\to\infty}(2\pi)^{3/2}q_n(\quad\omega)k_A(\omega)\\&=k_A(\omega)/k(\omega)\\&=\frac{1}{2\pi k(\omega)}\int_A^{\infty}e^{-i\omega(t-A)}dt\int_{-\infty}^{\infty}k(u)e^{i\omega t}du.\end{aligned} \tag{3.88}$$

这就是最优预测运算子的频率形式表示。

在(3.34)那样的时间序列场合,滤波问题与预测问题有非常密切的关系。设消息加噪声的形式为

$$m(t)+n(t)=\int_0^{\infty}K(\tau)d\xi(t-\tau,\gamma); \tag{3.89}$$

而消息的形式为

$$m(t)=\int_{-\infty}^{\infty}Q(\tau)d\xi(t-\tau,\gamma)+\int_{-\infty}^{\infty}R(\tau)d\xi(t-\tau,\delta), \tag{3.90}$$

式中 γ 和 δ 彼此独立地分布在(0,1)上,则由关于 $m(t+a)$ 的过去和现在的知识得到的 $m(t+a)$ 可预测部分显然为

$$\int_0^{\infty}Q(\tau+a)d\xi(t-\tau,\gamma), \tag{3.901}$$

而这预测的均方误差为

$$\int_{-\infty}^{a}[Q(\tau)]^2d\tau+\int_{-\infty}^{\infty}[R(\tau)]^2d\tau. \tag{3.902}$$

此外,假定我们已知下列诸量:

$$\begin{aligned}
\Phi_{22}(t) &= \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta n(t+\tau)n(\tau) \\
&= \int_0^\infty [K(|t|+\tau) - Q(|t|+\tau)][K(\tau)]d\tau \\
&= \int_0^\infty [K(|t|+\tau) - Q(|t|+\tau)][K(\tau) - Q(\tau)]d\tau + \\
&\quad + \int_{-|t|}^0 [K(|t|+\tau) - Q(|t|+\tau)][-Q(\tau)]d\tau + \\
&\quad + \int_{-\infty}^{-|t|} Q(|t|+\tau)Q(\tau)d\tau + \int_{-\infty}^\infty R(|t|+\tau)R(\tau)d\tau \\
&= \int_0^\infty K(|t|+\tau)K(\tau)d\tau - \int_{-|t|}^\infty K|t|+\tau)Q(\tau)d\tau + \\
&\quad + \int_{-\infty}^\infty Q(|t|+\tau)Q(\tau)d\tau + \int_{-\infty}^\infty R(|t|+\tau)R(\tau)d\tau,
\end{aligned} \tag{3.903}$$

$$\begin{aligned}
\Phi_{11}(\tau) &= \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(|t|+\tau)m(\tau) \\
&= \int_{-\infty}^\infty Q(|t|+\tau)Q(\tau)d\tau + \int_{-\infty}^\infty R(|t|+\tau)R(\tau)d\tau,
\end{aligned} \tag{3.904}$$

$$\begin{aligned}
\Phi_{12}(\tau) &= \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(t+\tau)n(\tau) \\
&= \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(t+\tau)(m(\tau)+n(\tau)) - \Phi_{11}(\tau) \\
&= \int_0^1 d\gamma \int_{-t}^\infty K(\sigma+t)d\xi(\tau-\sigma,\gamma) \int_t^\infty Q(\tau)d\xi(\tau-\sigma,\gamma) - \\
&\quad - \Phi_{11}(\tau) = \int_{-t}^\infty K(t+\tau)Q(\tau)d\tau - \Phi_{11}(\tau).
\end{aligned} \tag{3.905}$$

$$\left.\begin{aligned}&\Phi_{22}(\omega)=|k(\omega)|^2+|q(\omega)|^2-q(\omega)\\&\overline{k(\omega)}-k(\omega)\overline{q(\omega)}+|r(\omega)|^2,\\&\Phi_{11}(\omega)=|q(\omega)|^2+|r(\omega)|^2,\\&\Phi_{12}(\omega)=k(\omega)\overline{q(\omega)}-|q(\omega)|^2-|r(\omega)|^2,\end{aligned}\right\}\quad(3.906)$$

式中

$$\left.\begin{aligned}k(\omega)&=\frac{1}{2\pi}\int_0^\infty K(s)e^{-i\omega s}ds,\\q(\omega)&=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^\infty \overline{Q}(s)e^{-i\omega s}ds,\\r(\omega)&=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^\infty R(s)e^{-i\omega s}ds,\end{aligned}\right\}\quad(3.907)$$

于是我们得到

$$\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{12}(\omega)+\overline{\Phi_{12}(\omega)}+\overline{\Phi_{22}(\omega)}=|k(\omega)|^2\quad(3.908)$$

和

$$q(\omega)\overline{k(\omega)}=\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega),\quad(3.909)$$

这里为对称起见,我们曾把 $\Phi_{21}(\omega)$ 写成了 $\Phi_{21}(\omega)=\overline{\Phi_{12}(\omega)}$。和我们前面用(3.74)来定义 $k(\omega)$ 一样,我们现在能够用(3.908)决定 $k(\omega)$。这里,以 $\Phi_{11}(t)+\Phi_{22}(t)+2R\{\Phi_{12}(t)\}$ 作 $\Phi(t)$。由此得到

$$q(\omega)=\frac{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)}{\overline{k(\omega)}}.\quad(3.910)$$

因而,

$$Q(t)=\int_{-\infty}^\infty\frac{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)}{\overline{k(\omega)}}e^{i\omega t}d\omega;\quad(3.911)$$

因此,具有最小均方误差的 $m(t+a)$ 的最优预测为

$$\int_0^\infty d\xi(t-\tau,\gamma)\int_{-\infty}^\infty\frac{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)}{\overline{k(\omega)}}e^{i\omega(t+a)}d\omega;\quad(3.912)$$

把上式和(3.89)结合起来,并应用类似于用来得到(3.88)的推演,那末,作用于 $m(t)+n(t)$ 上的,使我们能得到 $m(t)$ 的“最优”表示

式的运算子，如果用频率尺度写出将是

$$\frac{1}{2\pi k(\omega)}\int_a^{\infty} e^{-i\omega(t-a)}dt\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\Phi_{11}(u)+\Phi_{21}(u)}{\overline{k(u)}}e^{iut}du, \quad (3.913)$$

这个运算子是电机工程师称为滤波器的特性运算子。量 a 是滤波器的滞后。它可以是正数，也可以是负数；当它为负时，$-a$ 叫作超前。我们总可以以任意高的精确度造出和(3.913)相当的装置。但关于制造这种装置的细节，电机工程专家会比本书的读者更感必要。这些细节可以在任何有关的文献中找到①。

滤波的均方差(3.902)可以表成具有无限大滞后($a\to-\infty$)的滤波的均方差之和：

$$\int_{-\infty}^{\infty}[R(\tau)]^2d\tau=\Phi_{11}(0)-\int_{-\infty}^{\infty}[Q(\tau)]^2d\tau$$

$$-\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\Phi_{11}(\omega)d\omega-\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|\frac{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)}{\overline{k(\omega)}}\right|^2d\omega$$

$$=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left\{\Phi_{11}(\omega)-\frac{|\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)|^2}{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{12}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)+\Phi_{22}(\omega)}\right\}d\omega$$

$$=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\begin{vmatrix}\Phi_{11}(\omega)\Phi_{12}(\omega)\\ \Phi_{21}(\omega)\Phi_{22}(\omega)\end{vmatrix}}{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{12}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)+\Phi_{22}(\omega)}d\omega; \quad (3.914)$$

以及和滞后 a 有关的那一部分

$$\int_{-\infty}^{a}[Q(\tau)]^2dt=\int_{-\infty}^{a}dt\left|\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\Phi_{11}(\omega)+\Phi_{21}(\omega)}{\overline{k(\omega)}}e^{i\omega t}d\omega\right|^2$$

(3.915)

之和。我们看到，滤波的均方差是滞后 a 的单调下降函数。

在消息加噪声的场合下，另一个由布朗运动引出的有趣问题是信息传递率的问题。为简单起见，我们考虑消息和噪声不相关的情形，即

① 特别要提到的是最近李郁荣博士的论文。

$$\Phi_{12}(\omega)\equiv\Phi_{21}(\omega)\equiv 0. \tag{3.916}$$

在这情形下，我们来考察

上述三个量的富里埃变换分别为

$$m(t)=\int_{-\infty}^{\infty}M(\tau)d\xi(t-\tau,\gamma),$$

$$n(t)=\int_{-\infty}^{\infty}N(\tau)d\xi(t-\tau,\delta), \tag{3.917}$$

式中 γ 和 δ 的分布彼此独立。如果得知 $m(t)+n(t)$ 在区域 $(-A,A)$ 上，试问由此获得多少关于 $m(t)$ 的信息？注意、我们应当料想到，所求的这个信息量和我们得知

$$\int_{-A}^{A}M(\tau)d\xi(t-\tau,\gamma) \tag{3.918}$$

的所有数值时而获得的关于

$$\int_{-A}^{A}M(\tau)d\xi(t-\tau,\gamma)+\int_{-A}^{A}N(\tau)d\xi(t-\tau,\delta) \tag{3.919}$$

的信息量相差不多，这里 γ 和 δ 的分布也是彼此独立的。另一方面，可以证明，(3.918)的第 n 个富里埃系数具有和其他一切富里埃系数无关的高斯分布，而且它的均方值正比于

$$\left|\int_{-A}^{A}M(\tau)\exp\left(i\frac{\pi n\tau}{A}\right)d\tau\right|^2. \tag{3.920}$$

因此，由(3.09)，关于 M 的全部信息量为

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{1}{2}\log_2\frac{\left|\int_{-A}^{A}M(\tau)\exp\left(\frac{in\pi\tau}{A}\right)d\tau\right|^2+\left|\int_{-A}^{A}N(\tau)\exp\left(\frac{in\pi\tau}{A}\right)d\tau\right|^2}{\left|\int_{-A}^{A}N(\tau)\exp\left(\frac{in\pi\tau}{A}\right)d\tau\right|^2} \tag{3.921}$$

而能量传递的时间密度则为这个量用 $2A$ 除。当 $A\to\infty$ 时，(3.921)趋于

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}du\log_2\frac{\left|\int_{-\infty}^{\infty}M(\tau)\exp(iu\tau)d\tau\right|^2+\left|\int_{-\infty}^{\infty}N(\tau)\exp(iu\tau)d\tau\right|^2}{\left|\int_{-\infty}^{\infty}N(\tau)\exp(iu\tau)d\tau\right|^2}$$

(3.922)

上述场合下的信息传递率的这个结果，是由作者和申农得到的。我们看到，它不仅决定于传递消息的有效频带宽度，而且还决定于噪声的振幅大小。事实上，它和用来测定每个人的听力和听力损失量的听力损失图有密切关系。在这种图中，横轴表示频率数，下边界的纵坐标表示听阈强度的对数——我们把它叫做接收系统内部噪声强度的对数，而上边界的纵坐标则表示系统能接收的最大消息强度的对数。因此，上下边界间的面积是一个具有(3.922)量纲的量，因而可以取作耳朵能够忍受的信息传递率的测度。

关于和布朗运动有线性关系的消息理论，具有许多重要的变形。(3.88)，(3.914)和(3.922)都是重要的公式；当然，解释这些公式所必需的定义也是重要的。这个理论目前有如下一系列的变形。首先，当消息和噪声，是由有布朗运动作用的线性共振器所产生出来时，由这个理论可以作出预测器和滤波器的最优设计；但在大多数通常情况下，我们只能得到预测器和滤波器的可能设计。虽然这不能说是绝对最优的设计，但就对于进行线性操作的装置说，则是使预测和滤波的均方差为最小的设计。然而，一般说，我们要考虑某些非线性装置，因为它们工作得比任何线性装置还要好。

其次，上面考虑的时间序列是简单时间序列，其中只有一个变量依赖于时间。还有一种多重时间序列，其中有许多变量同时依赖于时间；这种时间序列在经济学、气象学等部门中是特别重要的。逐日作出的美国总天气图就是这种时间序列。对于这样的时间序列，我们必须同时把许多函数展成频率形式，而像(3.35)和(3.70)后面讨论的$|k(\omega)|^2$那样的二次量，则必须用成对量的行列，即用矩阵来代替。这时，运用使$k(\omega)$在其复平面内满足某些附加条件

的方法，由 $|k(\omega)|^2$ 来决定 $k(\omega)$，成为一个十分困难的问题，这特别由于矩阵乘法是一个不可交换运算的原故。但是，关于多元理论的这个问题已经由克耐因(Krein)和作者解决了，至少部分地解决了。

多元理论是上述一元理论的复杂化。除此而外，还有一种和一元理论有密切关系的理论，它是一元理论的简单化。这就是关于离散时间序列的预测，滤波和信息量的理论。离散时间序列是参数为 α 的函数 $f_n(\alpha)$ 的序列，其中 n 跑过 $-\infty$ 到 ∞ 的一切整数值。和前面一样，量 α 是分布参数，可以认为它均匀地在(0,1)上变动。如果当 n 变为 $n+\nu$(ν 取整数)时，时间序列的统计性质不变，我们就把它叫作处在统计平衡的时间序列。

离散时间序列的理论在许多方面都比连续时间序列理论更简单。例如，要做到它由一系列独立选择来决定就比较容易。每一项(在混合的场合下)都可以表成前面各项与某个和前面各项无关的、均匀分布在(0,1)上的量的组合，这些独立量的序列，就代替了在连续场合下起十分重要作用的布朗运动的作用。

如果 $f_n(\alpha)$ 是一处在统计平衡的时间序列，而且是度量可迁的，则它的自相关系数是

$$\Phi_m = \int_0^1 f_m(\alpha) f_0(\alpha) d\alpha, \qquad (3.923)$$

并且几乎对所有的 α 我们都有

$$\begin{aligned}\Phi_m &= \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N+1} \sum_0^N f_{k+m}(\alpha) f_k(\alpha) \\ &= \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N+1} \sum_0^N f_{-k+m}(\alpha) f_{-k}(\alpha).\end{aligned} \qquad (3.924)$$

我们令

$$\Phi_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi(\omega) e^{in\omega} d\omega \qquad (3.925)$$

或

$$\Phi(\omega)=\sum_{-\infty}^{\infty}\Phi_n e^{-in\omega}. \tag{3.926}$$

令

$$\frac{1}{2}\log\Phi(\omega)=\sum_{-\infty}^{\infty}p_n\cos n\omega, \tag{3.927}$$

再令

$$G(\omega)=\frac{p_0}{2}+\sum_{1}^{\infty}p_n e^{in\omega}. \tag{3.928}$$

令

$$e^{g(\omega)}=k(\omega), \tag{3.929}$$

则在很一般的条件下，$k(\omega)$将是一个在单位圆内无零点或奇点的函数在单位圆上的边界值。这里，ω 表示单位圆上点的偏角。我们将有

$$|k(\omega)|^2=\Phi(\omega). \tag{3.930}$$

现在，设具有超前 ν 的 $f_n(\alpha)$的最优线性预测为

$$\sum_{0}^{\infty}f_{n-\nu}(\alpha)W_\nu, \tag{3.931}$$

则得到

$$\sum_{0}^{\infty}W_\mu e^{i\mu\omega}=\frac{1}{2\pi k(\omega)}\sum_{\mu=\nu}^{\infty}e^{i\omega(\mu-\nu)}\int_{-\pi}^{\pi}k(u)e^{-i\mu u}du. \tag{3.932}$$

它和(3.88)相当。注意，如果令

$$k_\mu=\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}k(u)e^{-i\mu u}du, \tag{3.933}$$

则

$$\sum_{0}^{\infty}W_\mu e^{i\mu\omega}=e^{-i\nu\omega}\frac{\sum_{\nu}^{\infty}k_\mu e^{i\mu\omega}}{\sum_{0}^{\infty}k^\mu e^{i\mu\omega}}$$

$$-e^{-i\nu\omega}\left\{1-\frac{\sum_{0}^{\nu-1}k_{\mu}e^{i\mu\omega}}{\sum_{0}^{\infty}k_{\mu}e^{i\mu\omega}}\right\} \tag{3.934}$$

在很一般的场合下，我们能设

$$\frac{1}{k(\omega)}=\sum_{0}^{\infty}q_{\mu}e^{i\mu\omega}, \tag{3.935}$$

这显然是上述作成 $k(\omega)$ 的方法带来的结果。这时，(3.934)变为

$$\sum_{0}^{\infty}W_{\mu}e^{i\mu\omega}=e^{-i\nu\omega}\left(1-\sum_{0}^{\nu-1}k_{\mu}e^{i\mu\omega}\sum_{0}^{\infty}q_{\lambda}e^{i\lambda\omega}\right). \tag{3.936}$$

特别，当 $\nu=1$ 时，

$$\sum_{0}^{\infty}W_{\mu}e^{i\mu\omega}=e^{-i\omega}\left(1-k_{0}\sum_{0}^{\infty}q_{\lambda}e^{i\lambda\omega}\right) \tag{3.937}$$

或

$$W_{\mu}=-q_{\lambda+1}k_{0} \tag{3.938}$$

因此，对于先一步的预测 $f_{n+1}(\alpha)$，其最优值为

$$-k_{0}\sum_{0}^{\infty}q_{\lambda+1}f_{n-\lambda}(\alpha); \tag{3.939}$$

利用逐步预测过程，我们就能解决全部离散时间序列线性预测的问题。像连续场合中一样，如果

$$f_{n}(\alpha)=\int_{-\infty}^{\infty}K(n-\tau)d\xi(\tau,\alpha), \tag{3.940}$$

我们上面得到的这个预测在所有可能的方法中是最优的预测。

关于把滤波问题由连续场合过渡到离散场合，几乎只要遵循和前面相同的讨论。这时，表示最优滤波器频率特性的(3.913)变为如下形式：

$$\frac{1}{2\pi k(\omega)}\sum_{\nu=\alpha}^{\infty}e^{-i\omega(\nu-\alpha)}\int_{-\pi}^{\pi}\frac{\{\Phi_{11}(u)+\Phi_{21}(u)\}e^{iu\nu}du}{\overline{k(u)}}, \tag{3.941}$$

式中所有项的定义都和连续场合的相同，只是所有对 ω 或 u 的积分限都是从 $-\pi$ 到 π 而不是从 $-\infty$ 到 ∞，对所有 ν 的求和是离散

求和，而不是对 t 的积分求和。通常，离散时间序列的滤波器要做成一个用电路在物理上加以实现的装置，不如统计学家用它作为一种数学程序，从非纯粹统计数据求得最优结果那样来得容易。

最后，在有噪声

$$\int_{-\infty}^{\infty} N(n-\tau)d\xi(t,\delta) \tag{3.942}$$

存在的场合下，当 γ 和 δ 的分布彼此独立时，离散时间序列的信息传递率的形式为

$$\int_{-\infty}^{\infty} M(n-\tau)d\xi(t,\gamma) \tag{3.943}$$

它完全与(3.922)相当；即这时的信息传递量为

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} du\log_2 \frac{\left|\int_{\infty}^{\infty} M(\tau)e^{i\mu\tau}d\tau\right|^2+\left|\int_{-\infty}^{\infty} N(\tau)e^{iu\tau}d\tau\right|^2}{\left|\int_{-\infty}^{\infty} N(\tau)e^{iu\tau}d\tau\right|^2}, \tag{3.944}$$

式中，在区间$(-\pi,\pi)$上，

$$\left|\int_{\infty}^{\infty} M(\tau)e^{iu\tau}d\tau\right|^2 \tag{3.945}$$

表示消息的功率按频率的分布，而

$$\left|\int_{-\infty}^{\infty} N(\tau)e^{iu\tau}d\tau\right|^2 \tag{3.946}$$

表示噪声功率按频率的分布。

这里发展的统计理论，要求我们对所观测的时间序列的过去具有充分的知识。但无论在什么场合，我们都不能满足这个要求，因为我们的观测不能追溯到无限的过去。为了超出这个范围，使我们的理论发展成为一个实用的统计理论，必须推广现有的抽样方

法。作者和其他等人①已经开始这方面的研究。我们发现，或者由于必须使用拜意斯定律(Bayes' Law)，或者由于必须使用似然理论(theory of likelihood)②的术语技巧，都给这个研究带来了全部的复杂性，似然理论似乎能避免使用拜意斯定律的必要，但实际上却是把使用这定律的责任推诸实际从事这方面工作的统计学家，或其他最后利用其结果的人。与此同时，理论统计学家却完全可以理直气壮地指出，他所说的话都是完全严密和无可非议的。

最后，在结束本章中，还应当讨论一下现代量子力学。这个讨论说明时间序列理论伸入到近代物理学的最高点。在牛顿物理学中，物理现象序列完全由它的过去所决定，特别，完全由任一瞬间所有的位置和动量的决定所决定。在全部吉布斯理论中，这一点仍然是正确的，如果整个宇宙的多重时间序列能完全决定，则任一瞬间的关于所有位置和动量的知识将决定整个未来。仅仅因为还有一些坐标和动量还不知道，还没有观察到，我们实际研究的时间序列才具有一种混合的性质，对这种性质，我们在本章的由布朗运动得到的时间序列中已经很熟悉了。海森堡对物理学的巨大贡献就在于，他用另一种世界来代替上述吉布斯的仍然是准牛顿式的世界，对于这另种世界，时间序列无法归结为一个在时间进展中具有决定论发展线索的系综。在量子力学中，单个系统的全部过去并不以绝对的方式决定其未来，而仅决定该系统未来可能状态的分布。

---

① Wiener，N. 和 Doob 的著作，即将由纽约的 John Wiley 公司出版*。

* 虽然维纳写成本书已将10年，这里的脚注和序中所提到的那种合写的著作并没有出版(这是维纳到日本来的时候弄明白的)。但是 Doob 个人著的下面一本书却出版了。

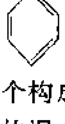
Doob，J. L.，"Stochastic Processes"，John，Wiley，1952。

这本书的最后一章讲的是预测理论。——日译者注。

② 见 J. von Neumann 与 R. A. Fisher 的著作。

古典物理为了获得系统整个过程的知识所必需的那些能量，只能不精确地近似地而不能同时精确地加以观测。但是，在古典物理要求的精确度范围内（**已经证明这个范围在实验上是可以适用的**），这样的近似观测还是足够精确的。观测动量及其共轭位置的条件是互不相容的。为了尽可能精确地观测系统的位置，我们必须借助光或电子波或其他类似的具有高分辨本领的短波长的方法来进行观测。但是，光具有仅仅和它的频率有关的粒子性，用高频光照射物质，意味着使它的动量发生随频率增加而增大的动量变化。另一方面，低频光可以使被照射粒子的动量变化小，但它没有能明晰指示粒子位置的足够的分辨本领。中间频率的光对位置和动量二者提供的都是模糊的估计。一般说，没有任何一组可以设想的观测，它能提供我们关于系统的过去的足够信息，而这些信息能提供我们关于系统的未来的完全信息。

虽然如此，如同在一切时间序列系综的场合中一样，我们这里发展的信息量理论对于量子力学也能适用，因而关于熵的理论也能适用。但由于我们目前处理的时间序列是混合性的（即使在数据尽可能的完全时也是如此），我们发现我们的系统并没有绝对势垒；在时间的过程中，系统的任一状态都能而且一定会变化到另一状态。但是，发生这种变化的几率归根到底决定于两个状态的相对几率或测度。对于那些能通过多次变化而变化为自身的状态来说，这种状态变化的几率特别高，用量子理论家的话说，也就是对于那些具有高内部共振或高量子简并性的状态，这些状态的变化几率特别高。苯环就是一个这样的例子，因为它有两个等价的状态：

和 

这可以使我们想象：一个系统的各个构成部分可以按不同的方式相互紧密地结合起来，许多氨基酸的混合物结合为各种蛋白质链就是这种情形，至于有许多链是相同链的情况，则当它们进入彼此

密切缔合的阶段时，它们的情况要比具有不同链的情况更为稳定。海登(Haldane)曾尝试提出，这可能就是基因和病毒自身繁殖的途径；虽然他没有把这个提议作为最后结论那样地肯定下来，但我想，我们没有什么理由不把它作为正式的假说而加以保留。如海登本人所指出的，由于量子理论中任何单个粒子都没有明晰的个体性，所以对于由一个基因以这种方式繁殖成两个基因的情形，我们不可能很准确地说这两个基因样品中，那一个是主型，那一个是模型。

我们知道，这种同样性质的共振现象在生命体中是经常出现的。生特-乔治(Szent-Gyorge)曾指出这种现象在肌肉结构中的重要性。高共振物质十分普遍地都有一种非常的储藏能量和信息的能力，这样的储藏在肌肉收缩时肯定是发生的。

再有，和生殖有关的同样现象，也许可以用不同种的生命体中化学物质不寻常的特殊性，甚至用同种个体间化学物质不寻常的特殊性来加以解释。这种考虑可能在免疫学中非常重要。

第 四 章

反馈和振荡

一个病人到神经病院来临诊，他并没有瘫痪，当他接到命令时还能移动下肢。然而，他苦于严重的病废，他在步行时呈现特殊的不准确的步态，两眼朝下，看着地面和足部。他每走一步腿都抬得很高，而且迈足过度，上身则落在后面，如果遮住他的两眼，他就要站立不住而踉跄倒地，这是怎么回事呢？

另一个病人也来临诊，当他安静地坐在椅中时，好像没有什么毛病。但是，如果给他一支香烟，在他企图接取这支烟时，他的手会摇摆不定而抓不到它。接着他的手又在另一侧作同样无益的摇摆，随后，第三次又摇摆回来，他的手一直就这样进行着无益而激烈的振荡。如果给他一杯水，当他把这杯水端到口边以前就会由于这些摇摆而泼空了。这又是怎么回事呢？

这两个病人都是苦于这种或那种形式的所谓运动失调。他们的肌肉是强壮的，而且很健康，但是不能调节自己的动作。第一个病人患的是脊髓痨，由于梅毒后遗症，他的通常用来传导各种感觉的脊髓后索等部位，遭到了损伤或破坏。他对外来消息的应答变得迟钝了，即使这些消息不是完全不起作用。他的关节、腱、肌肉和足底中的各个感受器，这些通常报告他下肢运动的位置和状态的器官，不能向中枢神经系统传送什么消息了，他对于有关其姿势的信息，不得不依靠两眼和内耳平衡器官。用生理学家的术语说，他丧失了本体感觉或运动神经感觉的重要部分。

第二个病人并没有丧失本体感觉。他受伤的部位是另外一个地方——小脑。他患的病叫小脑性震颤或目的性震颤。看来，小脑可能具有一种调节肌肉对本体感觉输入应答的机能，这种调节机能一旦发生障碍，其结果之一就是震颤。

由此可见，为了能对外界产生有效的动作，重要的不仅是我们必须具有良好的效应器，而且必须把效应器的动作情况恰当地回报给中枢神经系统，而这些报告的内容必须适当地和其他来自感官的信息组合起来，以便对效应器产生一个适当的调节输出。有些机械系统的情形与此十分相似。例如，让我们来考虑铁路上信号塔的情形。信号手控制着一组杠杆，它们能使信号机开发信号或停发信号，并调整转辙装置。可是，信号手不能盲目认为信号机和转辙器是服从他的命令的，说不定转辙器被牢牢冻住了，或者由于雪的负重使信号机臂弯曲了，这时，转辙器和信号机——信号手的效应器——的实际状态并不和他发出的命令相适应。为了避免这个偶发事件中所蕴藏的危险，每一个效应器，即转辙器或信号机，都必须附装一个向信号塔回报的自动回报器，把这些效应器的实际状态和动作情况报告给信号手。这和海军中的复述命令是机械地相当的：按照惯例，下级在接受命令时必须把命令对上级复述一遍，说明他已经听到了并了解了它，信号手就必须根据这种复述的命令动作。

我们注意，在上述系统中，信息传递和返回的过程（今后我们把它叫作反馈过程）是有人参与的。当然，信号手也不能完全自由行动；转辙器和信号机相互连结着，这种连结可以是机械的也可以是电的；此外，信号手没有选择某种危险组合的自由。但是，也有一些反馈过程没有人的因素参与。用来调节室温的普通恒温器，其调节过程就是这样一种反馈过程。有一种能使室温达到预定温度指标的装置；如果室内实际温度低于这个指标，恒温器就开动起来，使风门打开或使柴油的流量增加，把室温提高到预定的指标。反

之，如果室温超过预定的指标，风门就关上，或者柴油的流量减少或中断。这样，室温将近似地保持在固定指标附近。要注意，这指标保持稳定的程度与恒温器设计的好坏有关，一个设计得不好的恒温器会使室温发生剧烈的震荡，如同患了小脑性震颤的人的运动一样。

另一个纯机械反馈系统的例子是蒸气机的调速器，它能调节蒸气机在负荷条件有改变时的速度，这种装置最初是由麦克士威尔加以研究的。在瓦特设计的原始形式的调速器中，包括两个连结在两根摆杆上的球，它们可以在旋转轴的两侧摆动。由于球本身的重量或由于弹簧力，这两个球有往下摆的趋势；而由于和转轴角速度有关的离心作用，它们要往上摆。因此，我们可以假定它们有一个平衡位置，这个位置也和角速度有关。球的位置的改变，经过另外的一些连接杆传递到转轴上的一个套筒，套筒位置的改变能使一个机件按照如下的方式动作：当蒸气机速度降低而球下落时，它就打开气缸入口处的活阀；当蒸气机的速度增加而球上升时，活阀就关上。我们注意，这个反馈倾向于反抗系统正在进行的动作，因此是负反馈。

我们已经有了稳定温度的负反馈例子，也有了稳定速度的负反馈例子。此外还有稳定位置的负反馈，例如船舶上操舵机的情形。由于舵轮的位置和舵的位置之间有一角度差，操舵机的动作总是要使舵的位置和舵轮的位置一致起来。随意动作中的反馈就是这种性质的反馈。当我们进行随意动作时，我们没有使某些肌肉运动的明确意图。为了完成特定的动作，譬如说当我们要接取一支香烟的时候，我们并不特别命令某一些肌肉来运动。而且实际上，我们一般也不知道要经过哪些肌肉的运动才能完成那个特定的动作。我们是根据某种表示动作尚未完成的量的大小来调节我们的动作的。

反馈到控制中心的信息，具有反抗被控制的量偏离控制指标

的趋势，但是，这种反抗趋势可以按照不同方式依赖于偏离的大小。最简单的控制系统是线性控制系统，在这种控制系统中，效应器的输出和输入呈线性关系，当输入增加时，输出也成比例地增加。输出的读数用某种线性的装置来记录。这个读数简单地就是输入读数的分数。我们将在下面建立一个严格的理论，来描述这种装置的运转情形，特别是，来描述它的反常行为和在过载时发生振荡的情形。

在本书中，我们尽量避免去运用许多数学符号和数学技巧，但在个别地方还不免要运用到，特别在上一章。同样，在这一章的以后部分中，对我们要严格处理的那些材料说，数学符号则是合适的语言；否则就要用啰嗦的长篇大论来代替，这对于外行的人不见得更容易理解，只有对熟悉数学符号的读者才容易理解，因为他能把它们翻译成数学符号。当然，最好的折衷办法就是使用数学符号再加以充分的口头说明。

令 $f(t)$ 是一个时间 t 的函数，t 从负无穷跑到无穷。这就是说，$f(t)$ 是一个对每一时刻 t 都有数值的量。在任一时刻 t，当 s 小于或等于 t 时，$f(s)$ 的值是可以求得的，但当 s 大于 t 时则不能求得。有些电的和机械的装置，其输出延迟一固定时间，就是说，对于输入 $f(t)$，我们得到的输出是 $f(t-\tau)$，这里 τ 是固定的延迟时间。

我们可以用几部这样的装置组合起来，得到输出 $f(t-\tau_1)$，$f(t-\tau_2)$，…，$f(t-\tau_n)$。对其中每个输出，我们都能乘上一个固定的正的或负的量。例如，我们可以用分压器使电压乘上一个小于 1 的固定正数，我们也不难设计一种自动平衡装置和放大器，使电压乘上一个负的或大于 1 的量。我们同样不难设计一种简单的电路，把各个电压连续相加起来，借助于这些，我们可以得到输出

$$\sum_{1}^{n} a_k f(t-\tau_k). \tag{4.01}$$

随着延迟 τ_k 的数目的增加，并适当选择系数 a_k，这个输出可以无

限接近于下列形式的输出

$$\int_0^\infty a(\tau)f(t-\tau)d\tau. \tag{4.02}$$

在这个表示式中，应当注意积分限是从 0 到∞而不是从－∞到∞，这一点很重要。否则，我们就能用各种实际装置进行操作而得到 $f(t+\sigma)$，这里 σ 是正数。但这就涉及到关于 $f(t)$ 的未来的知识；$f(t)$ 就可以是一个不由它的过去所决定的量，正像一架电车的坐标（由于转辙器可以使这条或那条轨道开断），不由他的过去所决定一样，当一个物理过程看来像运算子

$$\int_{-\infty}^\infty a(\tau)f(t-\tau)d\tau \tag{4.03}$$

时，式中 $a(\tau)$ 对 τ 的负值不全为零，这意味对 $f(t)$ 不再有一个真正的唯一依赖于它的过去的运算子。有一些物理现象就是这种情形。例如，一个没有输入的动力学系统可能产生振幅不定的永久性振荡，甚至这个振荡的振幅可以增加到无限大。在这情形下，系统的未来不依赖于它的过去，而且，形式上我们可以求出一个依赖于系统的未来的运算于表示式。

从 $f(t)$ 得到 (4.02) 的运算，具有两个重要的性质：(1) 它与时间原点的推移无关；(2) 它是线性的。第一个性质可表述为：若

$$g(t)=\int_0^\infty a(\tau)f(t-\tau)d\tau, \tag{4.04}$$

则有

$$g(t+\sigma)=\int_0^\infty a(\tau)f(t+\sigma-\tau)d\tau. \tag{4.05}$$

第二个性质可表述为：若

$$g(t)=Af_1(t)+Bf_2(t), \tag{4.06}$$

则有

$$\int_0^\infty a(\tau)g(t-\tau)d\tau=A\int_0^\infty a(\tau)f_1(t-\tau)d\tau$$

$$+ B\int_0^\infty a(\tau)f_2(t-\tau)d\tau. \tag{4.07}$$

可以证明：在适当意义上说，每个作用于 $f(t)$ 的过去的运算子，如果它是线性的而且在时间原点推移下不变，它就具有(4.02)的形式，或者是这种形式的运算子的一个序列的极限。例如，一个具有这些性质的运算子运算于 $f(t)$ 的结果为 $f'(t)$，而

$$f'(t) = \lim_{\varepsilon\to 0}\int_0^\infty \frac{1}{\varepsilon^2}a\left(\frac{\tau}{\varepsilon}\right)f(t-\tau)d\tau, \tag{4.08}$$

式中

$$a(X) = \begin{cases} 1(0 \leqslant X < 1); \\ -1(1 \leqslant X < 2); \\ 0(2 \leqslant X) \end{cases} \tag{4.09}$$

如我们在前面所看出的，由函数 e^{Zt} 组成的函数 $f(t)$ 的集合，对于运算子(4.02)说来是特别重要的，因为

$$e^{Z(t-\tau)} = e^{Zt}\cdot e^{-Z\tau}, \tag{4.10}$$

那么延迟运算子就变成一个仅仅依赖于 Z 的乘子，于是，(4.02)变为

$$e^{Zt}\int_0^\infty a(\tau)e^{-Z\tau}d\tau, \tag{4.11}$$

它也是一个仅仅依赖于 Z 的倍加运算子。表示式

$$\int_0^\infty a(\tau)e^{-Z\tau}d\tau = A(Z) \tag{4.12}$$

叫作运算子(4.02)的频率函数表示式。如果取 Z 为复数 $x+iy$，这里 x 和 y 都是实数，则这个表示式变为

$$\int_0^\infty a(\tau)e^{-x\tau}e^{-iy\tau}d\tau, \tag{4.13}$$

因此，由著名的西瓦尔(Schwarz)积分不等式，若 $y>0$，且

$$\int_0^\infty |a(\tau)|^2 d\tau < \infty, \tag{4.14}$$

我们就有

$$|A(x+iy)| \leqslant \left\{\int_0^\infty |a(\tau)|^2 d\tau \int_0^\infty e^{-2x\tau} d\tau\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left\{\frac{1}{2x}\int_0^\infty |a(\tau)|^2 d\tau\right\}^{\frac{1}{2}}. \qquad (4.15)$$

这就是说，$A(x+iy)$是每个半平面 $x \geqslant \epsilon > 0$ 上复变数 $x+iy$ 的有界全纯函数，而 $A(iy)$在某种确定意义上则表示这个函数的边界值。

令

$$u + iv = A(x+iy), \qquad (4.16)$$

式中 u 和 v 是实数。这时，$x+iy$ 将作为 $u+iv$ 的函数而被决定(不一定是单值的)。除了与使$\frac{\partial A(Z)}{\partial Z}=0$ 的点 $z=x+iy$ 相对应的那些点 $u+iv$ 外，这个函数是解析函数，但是半纯的。边界 $x=0$ 是一曲线，其参数方程为

$$u + iv = A(iy)(y\text{ 为实数}). \qquad (4.17)$$

这个曲线自身可以相交任意多次。但一般说它使平面分为两个区域。让我们从 y 由 $-\infty$ 逐渐跑到∞的方向来考虑曲线(4.17)的情形。这时，如果我们越出曲线(4.17)，沿着一不再与(4.17)相交的连续曲线向右前进，我们就得到一个点集。不属于这个点集也不在(4.17)上的点，叫作外点，曲线(4.17)中包括外点的极限点的那一部分，叫作有效边界。所有其它的点都叫作内点。例如，在下一图中，箭头所画的表示边界，阴影区域是内点，有效边界用粗线表示。

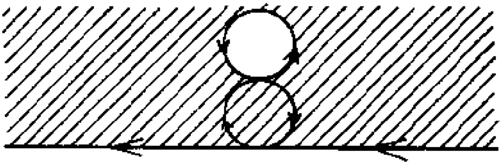


图 1

因此，A 在任意一个右半平面内有界的条件，将是无穷远点不能为内点。它可以是边界点，但是对于这种边界点的类型必须加以十分严格的限制。这些限制和内点集离无穷远点的"厚度"①有关。

现在，我们来研究线性反馈的数学表示问题。假定系统控制过程的示意图(不是线路图)如图 2：

这里，马达运算器的输入为 Y，它是初始输入 X 与乘法运算器输出之差，乘法器对马达动力输出的倍加因子为 λ。即

$$Y - X - \lambda AY \tag{4.18}$$

或

$$Y = \frac{X}{1 + \lambda A}; \tag{4.19}$$

因而马达的输出为

$$AY = \frac{Ax}{1 + \lambda A}. \tag{4.20}$$

因此，相应于整个反馈机构的运算子为 $A/(1+\lambda A)$。这个运算子当且仅当 $A = -1/\lambda$ 时才等于无穷大。对于这新的运算子，(4.17)为

$$u + iv = \frac{A(iy)}{1 + \lambda A(iy)}; \tag{4.21}$$

---

① 厚度——设 ε 为正，令 $z = x + iy$ 平面中 $x \geqslant \varepsilon$ 的部分的 $A(x+iy)$ 向 $u+iv$ 平面的映象(mapping)为 $\mathscr{U}(\varepsilon)$，则 $A(x+iy)$ 因 $x \geqslant \varepsilon > 0$ 而成为有界的集合，而且如果 $\varepsilon > \varepsilon'$，则 $\mathscr{U}(\varepsilon')$ 含有 $\mathscr{U}(\varepsilon)$。内点集合是 $\varepsilon \to 0$ 时 $\mathscr{U}(\varepsilon)$ 的极限集合。称无限远点在一切 $\mathscr{U}(\varepsilon)$ 之外为"厚度"。——日译者注。

当且仅当$-\frac{1}{\lambda}$是(4.17)的内点时，无穷远点才是内点。

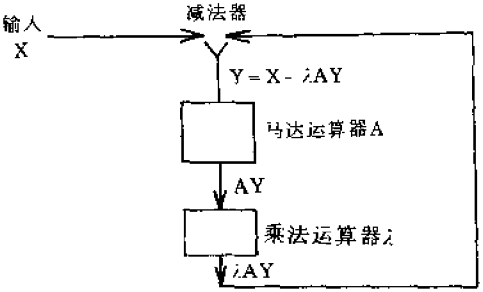


图 2

如果$-\frac{1}{\lambda}$是内点，一个倍加因子为λ的反馈一定会引起许多麻烦，事实上，这些麻烦就是系统这时要陷于无终止的愈来愈强的振荡。反之，如果$-\frac{1}{\lambda}$是外点，我们可以证明这个困难不会发生，这时反馈是稳定的。如果点$-\frac{1}{\lambda}$在有效边界上，就需要比较复杂的讨论。在大多数场合，系统都会发生振幅并不增大的振荡。

考虑几个运算子A的例子和它们许可的反馈范围，也许是值得做的一件事，我们不仅要考虑(4.02)形式的运算子，而且也要考虑它们的极限，假如以上的论证同样可以适用于它们的话。

如果取运算子A为微分运算子$A(z)=z$，则当y从$-\infty$到∞时，$A(z)$同样从$-i\infty$到$i\infty$，内点是右半平面的内点。$-\frac{1}{\lambda}$永远是外点，所以任意等级的反馈都是可能的。若取运算子为

$$A(z)=\frac{1}{1+kz}, \tag{4.22}$$

则曲线(4.17)为

$$u+iv=\frac{1}{1+kiy}, \tag{4.23}$$

或

$$u=\frac{1}{1+k^2y^2}; \qquad v=\frac{-ky}{1+k^2y^2}, \tag{4.24}$$

它可以写成

$$u^2+v^2=u. \tag{4.25}$$

这是一个半径为 1/2，中心在(1/2,0)的圆。它的旋转方向是顺时针方向，内点是通常认为内点的那些点。在这情形下，当$-\frac{1}{\lambda}$永远在圆外时，许可的反馈范围也是没有限制的。与这运算子对应的$a(\tau)$为

$$a(\tau)=\frac{e^{-\tau/k}}{k}. \tag{4.26}$$

又，假设

$$A(z)=\left(\frac{1}{1+kz}\right)^2. \tag{4.27}$$

于是(4.17)为

$$u+iv=\left(\frac{1}{1+kiy}\right)^2=\frac{(1-kiy)^2}{(1+k^2y^2)^2}, \tag{4.28}$$

即

$$u=\frac{1-k^2y^2}{(1+k^2y^2)^2}; \quad v=\frac{-2ky}{(1+k^2y^2)^2}. \tag{4.29}$$

我们得到

$$u^2+v^2=\frac{1}{(1+k^2y^2)^2}, \tag{4.30}$$

或

$$y=\frac{-v}{(u^2+v^2)2k} \tag{4.31}$$

于是

$$u=(u^2+v^2)\left(1-\frac{k^2v^2}{4k^2(u^2+v^2)^2}\right)=$$

$$(u^2+v^2)-\frac{v^2}{4(u^2+v^2)}. \tag{4.32}$$

在极坐标中，$u=\rho\cos\varphi, v=\rho\sin\varphi$，上式变为

$$\rho\cos\varphi=\rho^2-\frac{\sin^2\varphi}{4}=\rho^2-\frac{1}{4}+\frac{\cos^2\varphi}{4}, \tag{4.33}$$

或

$$\rho-\frac{\cos\varphi}{2}=\pm\frac{1}{2}, \tag{4.34}$$

即

$$\rho^{\frac{1}{2}}=-\sin\varphi/2;\quad \rho^{\frac{1}{2}}=\cos\varphi/2. \tag{4.35}$$

能够证明，这两个方程仅仅表示一条曲线，它是顶点为原点而歧点在右边的心脏线。这个曲线的内点不包含负实轴上的点；和上面情形一样，许可的放大率也是没有限制的。这时运算子 $a(\tau)$ 为

$$a(\tau)=\frac{\tau}{k^2}e^{-\tau/k}. \tag{4.36}$$

假设

$$A(z)=\left(\frac{1}{1+kz}\right)^3. \tag{4.37}$$

并假设 ρ 和 φ 的定义和上一情形中的一样。于是，

$$\rho^{\frac{1}{3}}\cos\frac{\varphi}{3}+i\rho^{\frac{1}{3}}\sin\frac{\varphi}{3}=\frac{1}{1+kiy}. \tag{4.38}$$

和第一个例子中一样，我们可推得

$$\rho^{\frac{1}{3}}\cos^2\frac{\varphi}{3}+\rho^{\frac{2}{3}}\sin^2\frac{\varphi}{3}=\rho^{\frac{1}{3}}\cos\frac{\varphi}{3}. \tag{4.39}$$

即

$$\rho^{\frac{1}{3}}=\cos\frac{\varphi}{3}, \tag{4.40}$$

它是如下形状的曲线(见图 3)。阴影区域表示内点区域。所有系数

超过 8① 的反馈都是不可能的。相应的 $a(\tau)$ 为

$$a(\tau) = \frac{\tau^2}{2k^3}e^{-\tau/k}. \qquad (4.41)$$

最后,假设运算子 A 是一个简单的延迟 T 单位时间的运算子,即

$$A(z) = e^{-Tz}. \qquad (4.42)$$

我们得到

$$u + iv = e^{-Tiy} = \cos Ty - i\sin Ty. \qquad (4.43)$$

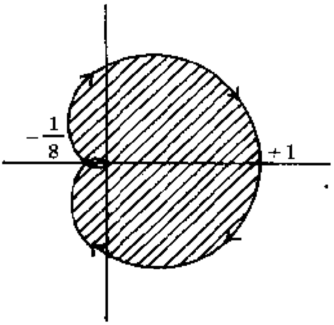


图 3

曲线(4.17)是以单位速度和顺时针方向绕原点旋转的单位圆。这个曲线的内部是通常意义下的内部,反馈的极限强度为 1。

由此可以作出一个很重要的结论:用任意强度的反馈来补偿运算子 $1/(1+kz)$ 都是可能的,对于任意宽的频带,它都可以使 $A/(1+\lambda A)$ 无限接近于 1。因此,用三次,甚至只用两次的逐次反馈就可以补偿三个这种逐次作用的运算子。但是,我们不可能用单

① 当 $\varphi=\pi$ 时,$\rho=\left(\cos\frac{\pi}{3}\right)^3=1/8$。因此反馈系数 $\lambda>8$ 时,反馈是不可能的。——汉译者注。

次反馈来无限补偿运算子 $1/(1+kz)^3$，因为这个运算子是三个运算子 $1/(1+kz)$级联起来的合成结果。运算子 $1/(1+kz)^3$ 也可以写成

$$\frac{1}{2k^2}\quad\frac{d^2}{dz^2}\quad\frac{1}{1+kz};\tag{4.44}$$

可以把它看成三个具有一次式分母的运算子的加法合成的极限。因此，它是这样三个不同运算子的和，其中每一个都可以用单次反馈来任意补偿，但它们的和却不能用单次反馈来补偿。

在麦考尔的重要著作中，我们可以看到复杂系统的例子，它能够用两次反馈来稳定，但不能用一次反馈来稳定。使用回转罗盘驾驶船舶时就遇到这种情形。舵手预定的航向和罗盘仪上指示的航向之间的角度，本身表现为舵的转动，这个转动在船前进方向上产生一个转矩以改变船的航向，使得预定航向和实际航向间的差异减小。如果这个过程的完成，是由于直接打开某一舵机的活阀并关上另一舵机的活阀而使舵的转动速度和船的偏航度成比例的话，那末，舵的角位置就大致和船的转矩成比例，也就是和它的角加速度成比例。因此，船转动的大小和偏航度的三次微商的负值成比例，而我们必须依靠回转罗盘的反馈来稳定的操作是 kz^3，这里 k 是正的。这时曲线(4.17)为

$$u+iv=-kiy^3,\tag{4.45}$$

因为左半平面是内点区域，所以用任何伺服机构都不可能稳定这个系统。

在以上的考虑中，我们对驾驶的问题有点过于简单化了。实际上是有一定摩擦力存在的，船的加速度不仅仅由使船转动的力决定。因此，如果 θ 是船的角位置而 φ 是舵相对于船的角位置，我们有

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}-c_1\varphi-c_2\frac{d\theta}{dt}\tag{4.46}$$

和

$$u + iv = -k_1iy^3 - k_2y^2. \qquad (4.47)$$

这个曲线可以写成

$$v^2 = -k_3u^3, \qquad (4.48)$$

它仍然不能用任何反馈来稳定。当 y 从 $-\infty$ 跑到 ∞ 时，u 从 ∞ 跑到 $-\infty$，曲线的左侧是内部。

但是，如果舵的位置和偏航度成比例，那么用反馈来稳定的运算子为 $k_1z^2+k_2z$，而(4.17)变为

$$u + iv = -k_1y^2 + k_2iy. \qquad (4.49)$$

这个曲线可以写成

$$v^2 = -k_3u, \qquad (4.50)$$

但在这场合下，当 y 从 $-\infty$ 跑到 ∞ 时，v 也从 $-\infty$ 跑到 ∞，曲线的图形是从 $y=-\infty$ 到 $y=\infty$ 来描画的。这时曲线的左侧是外部，因此无限大的放大率都是可能的。

为了达到这个目的，我们可以使用更高级的反馈。如果我们不是用实际航向与预定航向间的偏离，而是用这个量与舵角位置间的差别来调节舵机活阀位置的话，舵的角位置就非常精确地和船的偏航度成比例，不过需要足够强度的反馈——即需要将活阀打开得足够宽。这种双重的反馈控制系统，事实上就是我们用回转罗盘自动驾驶船舶时通常采用的。

在人的躯体中，手的运动或手指的运动都是一个包括很多关节的系统的运动。整个输出是所有这些关节的输出的矢量和。我们前面看到，一般说，像这种复杂的加法系统不能用单次的反馈来稳定。因此，通过对于表示运动尚未完成的量的观察来调节一个动作的随意反馈，还需要其它形式的反馈来帮助。我们把这些反馈叫作姿势反馈(postural feed back)，它们和肌肉系统紧张力的一般维持有关。随意反馈在小脑受伤的场合具有衰退或紊乱的倾向，这时如果病人不企图完成一个随意动作，就不会出现震颤。如果病人

不能够做到端起一杯水而不倾覆它，这是目的振颤，它的性质和巴金森震颤(tremor of Parkinsonianism)或震颤麻痹有本质的不同。最典型的巴金森震颤往往出现在病人休息的时候，而当他试图完成一个特定动作时，看起来却常常是很镇静的。有一些患有巴金森症候的外科医生动起手术来却很胜任。我们已经知道，巴金森症候的出现不是根源于小脑疾病，而是由于脑干中的某些部位有了病理上的病变。这仅仅是一种姿势反馈疾病的原因，还有许多姿势反馈疾病则是根源于神经系统其他部位的病变。生理控制学的重大任务之一，就是要分解出随意反馈和姿势反馈的复合体的各个不同部分。搔反射和步行反射就是这种组分反射(component reflex)的例子。

当反馈可能而且稳定的时候，如我们已经提到的，它的优点是使运转不受负载的影响。假设负载使特性 A 改变 dA，则改变率为 dA/A。如果反馈后的运算子为

$$B=\frac{A}{C+A},\tag{4.51}$$

我们就有

$$\frac{dB}{B}=\frac{-d\left(1+\frac{C}{A}\right)}{1+\frac{C}{A}}=\frac{\frac{C}{A^2}dA}{1+\frac{C}{A}}=\frac{dA}{A}\frac{C}{A+C}.\tag{4.52}$$

因此，反馈使得系统与马达特性的依赖关系减小，而且使系统稳定，因为对所有的频率我们都有

$$\left|\frac{A+C}{C}\right|>1.\tag{4.53}$$

这就是说，内点和外点间的全部边界都必须处在圆心为 $-C$，半径为 C 的圆以内。然而，这即使在我们前面讨论过的第一个例子中也不是如此。如果一个强负反馈一直是稳定，他的作用就在于能使系统的低频稳定度增加，但是一般要以牺牲系统的一定高频稳定

度为代价。在许多场合下，即使是这种有代价的稳定程度也是好的。

由于过量反馈引起振荡而发生的一个很重要的问题，就是初期振荡的频率问题。这个频率由 iy 中的 y 值决定，iy 对应于处在负 u 轴最左端的(4.17)的内区域和外区域的边界上的点。量 y 当然是一个具有频率性质的量。

我们现在要结束从反馈的观点来研究线性振荡的基本讨论了。线性振荡系统具有若干很特殊的性质，使得它的振荡具有若干特征。其中一个特征是，当系统在振荡时，它总能够(如果没有其他同时的独立振荡)而且一般说一定是按下一形式振荡：

$$A\sin(Bt + C)e^{Dt}. \tag{4.54}$$

周期性非正弦振荡的存在，常常表明至少对于我们所观察的变量说来系统是非线性系统的。在某些场合，选择新的独立变量后可以使系统再成为线性的，不过这种场合很少。

线性振荡和非线性振荡另一个很重要的区别是：对于前者，振荡的振幅与频率完全无关；而对于后者，对应于给定的振荡频率，系统的振荡一般只有一个振幅，或者至多只有一组离散的振幅，同时系统也只能有一组离散的振荡频率。我们考察一下风琴管的情形就可以很好地说明这一点。风琴管的理论有两种：比较粗糙的线性理论和比较精确的非线性理论。第一种理论把风琴管当作一个保守系统来处理，不考虑风琴管是如何发生振荡的，并且认为振荡的振幅完全不确定。第二种理论把风琴管的振荡看成能量逸散的过程，并认为这能量来自通过管口的空气流。理论上，的确存在通过管口的稳定状态的空气流，它不和风琴管的任何其他形式的振荡交换能量；但是，对于空气流的某些速度，这个稳定状态的条件是不稳定的。这时，只要偶尔稍为离开这个条件，就会引起能量从空气流输入到风琴管的某一种或多种本征线性振荡中；当能量输入到达一定程度时，就将使管的固有振荡与能量输入的耦合加强。

单位时间的能量输入和由于热逸散产生的能量输出，虽然具有不同的增长规律，但达到振荡的稳定状态时，这两个量必须相同。因此，非线性振荡的振幅和它的频率一样，也就这样被确定了。

我们上面考查的情形，是一种叫作张弛振荡的例子。在张弛振荡的场合，系统的方程组对时间原点的推移不变，它的解对时间是周期性的(或是对于推广了的周期性概念而言是周期性的)，它的振幅和频率是一定的，但周相则不固定。在我们讨论过的情形中，系统的振荡频率接近于系统的某一疏耦合的，近似于线性的部分的频率。梵·德·波尔(B. Van der Pol)是研究张弛振荡的主要权威之一，他曾经指出，上述情形并不经常发生，事实上有些张弛振荡的主频率并不接近于系统的任何线性振荡部分的频率。举一个例子：一股煤气流进一通空气的室，在室中燃一指示灯；当空气中煤气浓度到达某一临界值时，在指示灯点火下，这个系统就要爆炸，发生爆炸的时间仅决定于煤气的流率、空气渗进和燃烧产物渗出的速率，以及煤气和空气这爆炸混合物的成份百分比。

一般说，非线性方程组很难求解。但是有一种特别容易处理的情形，在这情形下，系统和线性系统只有很小的差别，方程组中非线性的项改变得很慢，以致在一个振荡周期中事实上可以看成是常数。这时，我们可以把这非线性系统当作具有缓变变化参量的线性系统来处理。能够用这种方法研究的系统叫作久期微扰系统，它的理论在引力天文学中起着很重要的作用。

把生理上的若干震颤大致当作若干久期微扰系统来处理，是十分可能的。在这样的系统中，我们可以很清楚地看到，为什么稳定状态的振幅和频率一样也是确定的。假设这系统的某一个要素是一放大器，并假设当系统的输入在一长时间内的平均值在增加时，放大器的增益减少。于是，当系统建立起振荡时，放大器的增益会一直减削到系统到达平衡状态为止。

关于非线性张弛振荡系统，有些场合已经用希耳(Hill)和邦

加来的方法研究过了①。研究张弛振荡的经典场合，是系统的方程为微分方程的场合，特别是低阶微分方程的场合。当系统未来的行为依赖于它的全部过去的行为时，这是积分方程的场合；据我所知，目前对这种情形还没有什么足够的研究。但是，我们不难大体说一下它的理论所应当采取的形式。特别是当我们只注意周期解的时候。这时，方程中各个常数的微小变化会使运动方程发生微小的、因而接近线性的变化。例如，令 $Op\{f(t)\}$ 是 t 的一个函数，它是对 $f(t)$ 进行非线性运算后产生的，它受平移的影响。于是，和 $f(t)$ 的变分 $\delta f(t)$ 对应的 $Op\{f(t)\}$ 的变分为 $\delta Op\{f(t)\}$，这时系统发生的动力学上的变化对 $\delta f(t)$ 说是线性的但不是齐次的，虽然对 $f(t)$ 说是非线性的。如果我们已知

$$Op\{f(t)\} = 0 \tag{4.55}$$

的一个解 $f(t)$，并改变这力学系统的性质，我们就得到 $\delta f(t)$ 的一个非齐次线性方程。如果

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} a_n e^{in\lambda t}, \tag{4.56}$$

而且 $f(t)+\delta f(t)$ 也具有周期性形式：

$$f(t) + \delta f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} (a_n + \delta a_n) e^{in(\lambda+\delta\lambda)t}; \tag{4.57}$$

则

$$\delta f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} \delta a_n e^{i\lambda nt} + \sum_{-\infty}^{\infty} a_n e^{i\lambda nt} in\delta\lambda t. \tag{4.58}$$

$\delta f(t)$ 的线性方程中的所有系数都能展成 $e^{i\lambda nt}$ 的级数，因为 $f(t)$ 本身能够展成 $e^{i\lambda nt}$ 的级数。因此，我们得到一个包括无限个方程的 $\delta a_n + a_n$，$\delta\lambda$ 和 λ 的非齐次线性方程组，它可以用希耳的方法来求解。在这时，至少可以设想从一个线性方程（非齐次的）出发应用逐步求近法，来求得非线性张弛振荡问题的一个很普遍的解。然而，

① Poincaré, H., "Les Méthodes Nouvelles dans la Mécanique Céleste".

这个工作还有待于将来。

在一定意义上说，这一章讨论的反馈控制系统和上一章讨论的补偿系统性质上是相媲美的。它们都能使一个效应器的复杂输入-输出关系变为简单的比例关系。如我们前面看到的，反馈系统的作用还不止此，它的运转相对地说不依赖于效应器的特性和特性的变化。因此，这两种控制方法的相对有用性，取决于效应器的不变性。我们自然认为最有利的场合是把这两种方法组合起来使用。组合的办法有很多种，下图说明一种最简单的组合办法：

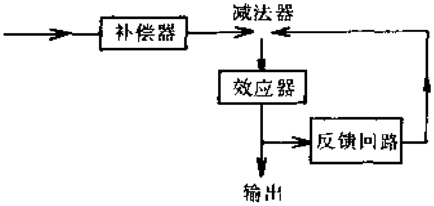


图 4

在上图中，可以把整个反馈系统看成一个更大的效应器，这样，除了必须把补偿器安装得能够补偿在一定意义上表示反馈系统的平均特性的那个量以外，这个图就没有什么新颖的地方了。另一种类型的组合装置如图 5。

这里，补偿器和效应器组合成一个更大的效应器。这样安排一般会改变最大许可反馈量，从这样的安排中，我们不容易看出为什么它往往能使反馈量有相当程度的增加。此外，在同样大小的反馈量下，这种装置显然能改善系统的运转。例如，如果效应器具有延迟的特性，则补偿器就要是一个预报器或预测器，这个预测器是针对输入的统计系综而设计的。这样的反馈可以叫作预报反馈，它起着催促效应器机构动作的作用。

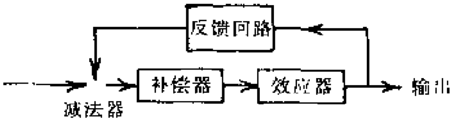


图 5

这种普遍形式的反馈一定能在人类和动物的反射中发现。当我们射猎野鸭时，我们希望减到最小程度的误差不是枪的位置和目标的实际位置间的误差，而是枪的位置和目标的预期位置间的误差。任何防空炮火控制系统都一定遇到同样的问题。关于预报反馈的稳定性条件和有效性条件，目前还需要作更透彻的讨论。

当一辆卡车驾驶在结冰的道路上时，我们会看到另外一种有趣的反馈形式。我们的整个驾驶操作依赖于对路面滑溜情况的知识，即依赖于对车-路系统运转特征的知识。如果我们想依靠这系统的普通运转获得这个知识的话，那么，我们在得到这个知识以前可能就滑出去了。因此，我们必须不断给驾驶盘以小面迅速的力，这些力不会使卡车更严重地滑出去，却完全足够向我们的运动神经报告这卡车是否有滑翻的危险，我们就根据这些消息来调节驾驶操作。

这种控制方法可以叫作信息反馈控制，我们不难把它图解成机械的形式，在实际中使用它是完全值得的。在这个机械形式中，包括一个用来补偿效应器的补偿器，它的特性可以由外界加以改变。我们在传入的消息上，加上一个弱的高频输入；并从效应器输出中取出同样高频的那一部分输出，用一个适当的滤波器使它与输出的其他部分分离开来。为了知道效应器的运转特性，我们必须考察高频输出对输入的振幅-周相关系。根据这个关系，就可以适当地改善补偿的特性。这种系统的示意图很多，如下图所示：

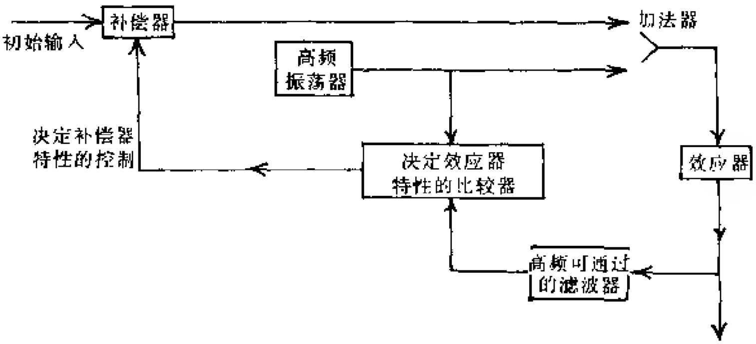


图 6

这种形式的反馈的优点，是可以校准补偿器，使得它对任何种类的不变负载都是稳定的；而且，如果负载特性的改变比起初始输入的变化来足够慢(这种改变的方式我们前面叫作久期式的)，如果负载条件的读数准确，那么系统就不会产生振荡。有很多场合，负载就是按照这种久期的方式改变的。例如，炮塔上炮的摩擦负载依赖于所擦油的硬度，而这又依赖于温度；但在炮塔转动不多时这个硬度是没有显著变化的。

当然，只有在高频负载特性与低频的相同或者能适当地由后者来表示时，信息反馈才能工作得很顺利。这种场合往往在负载特性(因而效应器的特性)涉及的可变参数数目相对少时发生。

信息反馈和上面列举的带补偿器的反馈的例子，仅仅是一种很复杂理论的特殊情况，这个理论还没有研究得很完整。整个理论正在迅速发展中。在最近的将来我们必须予以更多的注意。

在结束这一章以前，我们不要忘记反馈的原理在生理学上还有一个重要的应用。在很多场合，一定形式的反馈不仅是生理现象中常见的例子，而且它对生命的延续也是绝对必要的，我们在所谓

稳态(homeostasis)的情形中可以看到这点。高级动物的生命,特别是健康的生命,能够延续下去的条件是很严格的。体温只要有摄氏半度的变化,一般就是疾病的征候;如果有长时间的五度变化,就不能保持生命。血液的渗透压和它的氢离子浓度必须保持在严格限度内。体内的废物在浓度达到有毒以前必须排泄出去。此外,白血球和抵抗感染的化学防疫作用必须保持适当的水平;心搏率和血压必须既不太高也不太低;性生殖周期必须符合种族的生殖需要;钙代谢必须既不使我们的骨质松化,也不使我们的组织钙化,等等。一句话,我们内部组织中必须是一个由恒温器、氢离子浓度自动控制器、调速器等等构成的系统,它相当于一个巨大的化学工厂。我们把这些总起来叫作稳态机构。

稳态反馈与随意反馈和姿势反馈有一个很大的差别,稳态反馈进行得比较迟缓。因为几分之一秒内发生的生理上的稳态的改变,就使身体遭受严重而经久的创伤,这样的情况是少见的,即使对于大脑贫血来说,也不会发生这种情况。因此,进行稳态的神经纤维(交感神经系和副交感神经系)往往是无髓鞘的,我们知道,它们比有髓鞘纤维的传导速度迟缓得多。典型的稳态效应器(平滑肌和分泌腺)的动作比起随意活动和姿势活动的效应器(横纹肌)的动作来也是迟缓的。有许多有关稳态系统的消息是通过非神经通道传导的,这些非神经通道就是心脏肌纤维的直接吻合,或化学媒介,例如荷尔蒙、血液中的碳酸气等等;除了通过心脏肌纤维传导的场合,它们一般也比有髓鞘纤维的传递方式迟缓。

任何一本关于控制学的教程,都应当透彻详尽地讨论稳态的过程,有关这个过程的许多个别情形已经在文献中相当详尽地讨

论过了[①]。但是,对本书说,与其说对这个问题已作了一个概要的论述,不如说只是作了一个引导。上述稳态过程的理论需要比较详尽的一般生理学知识。

① Cannon, W., The Wisdom of the Body, W. W. Norton & Company, Inc., New York, 1932; Henderson, L. J., *The Fitness of the Environment*, The Macmillan Company, New York, 1913。

第 五 章

计算机和神经系统

计算机本质上是一种记录数字、运算数字并给出数字结果的机器。它的成本中的很大一部分，无论就经济方面说或就建造的劳力方面说，都花费在数字要记录得清楚而准确这个简单问题上。最简单的记录数字的方式似乎是利用均匀刻度尺，上面附有一个能够移动的游标。如果我们希望记录一个数字准确到 n 分之一，那么必须保证在尺上任何一个区域中游标所指的位置都具有这个准确度。这就是说，当信息量为 $\log_2 n$ 时，我们无论怎样移动游标都必须要满足这个准确度的要求，这时记录的耗费可以写成 An 的形式，这里 A 约为常数。更确切地说，由于 $n-1$ 个区域中满足了准确度的要求，剩下的那个区域也一定满足准确度的要求，所以记录信息量 I 的耗费大致为

$$(2^I - 1)A. \qquad (5.01)$$

如果让这个信息分布在两个尺上，而每个尺的刻度的准确度要小一些，这时，记录这信息量的耗费大致为

$$2(2^{\frac{I}{2}} - 1)A. \qquad (5.02)$$

如果让这个信息由 N 个尺来记录，记录的耗费近似地为

$$N(2^{\frac{I}{N}} - 1)A. \qquad (5.03)$$

这个量当

$$2^{\frac{I}{N}} - 1 = \frac{I}{N} \cdot 2^{\frac{I}{N}} \log 2 \qquad (5.04)$$

时具有最小值，或者令

$$\frac{I}{N}\log 2 = x, \tag{5.05}$$

当

$$x = \frac{e^x - 1}{e^x} = 1 - e^{-x}. \tag{5.06}$$

这个等式当且仅当 $x=0$ 或 $N=\infty$时才能成立。这就是说，为了使贮藏信息的耗费最低，N 应当尽可能的大。我们知道，$2^{I/N}$必须是一不等于 1 的整数，因为当 $2^{I/N}=1$ 时，这意味着要用无限个尺，而每一个尺却不包含一点信息。$2^{I/N}$最有意义的数值是 2，这时，我们的数字记录在一组彼此不相关的尺上，而每个尺又分为两个相等部分。换句话说，我们在一组尺上用二进位制来表示数，在二进位制的尺上，我们只需知道一个固定量落在尺的两个相等部分的这一边或另一边，而且，所观察的量不能肯定落在尺的哪一半，这种可能性小得简直可以忽略。这就是说，数 ν 可以表成下列形式：

$$\nu = \nu_0 + \frac{1}{2}\nu_1 + \frac{1}{2^2}\nu_2 + \cdots + \frac{1}{2^n}\nu_n + \cdots, \tag{5.07}$$

式中的每个 ν 或者为 1，或者为零。

现代的计算机可以分为两大类型，像布希(Bush)微分分析器那样的[①]，叫作**模拟计算机**，在这种机器中，数据用某种连续尺上的量度来表示，因而其准确度取决于尺的构造的准确程度；像通常台式加法或乘法机那样的，叫作**数字计算机**，在这种机器中，数据用一套可能事件的一组选择来表示，而其准确度取决于这些可能事件能够加以区别的明晰程度，取决于每次选择时可供挑选的可能事件的数目，和给定的选择次数。因此，对于要求高度准确的计算来说，用数字计算机总是比较合适的，尤其是根据二进位制制造

① *lournal of the Franklin Institude* 所载 1930 年以后的各论文。

的数字计算机，因为在这种数字计算机中每次选择时可供挑选的可能事件为 2。我们之所以采用十进位制的计算机完全是由历史的偶然所决定的，根据 10 个手指建立起来的计数尺度，早在印度人发现零的重要性和坐标记数的优点时，就已采用了。当大部分计算需要依靠以常用的十进位制形式把数字送入机器，而取出的数字必须用同样形式表示的那种计算机来完成时，十进位制的计算机还是值得保留的。

其实这就是通常的台式计算机的使用，例如在银行中，企业机关中和许多统计研究部门中所使用的。但是，对于更大型的和更自动化的用起来最方便的计算机来说，采用十进位制并不是最好的方向；一般说，任何一种计算机之所以被使用，是由于用它比用手更快。在任何形式联合起来使用的计算手段中，就像任何联合的化学反应一样，整个系统的时间常数的数量级由最缓慢的一种决定。因此，在任何复杂的计算过程中要尽可能消除人的因素，只是在最初和最终的运算阶段，在这些绝不可免的地方才用到人，做到这点是很有好处的。在这时，应当有一个改变记数制度的工具，以便在计算过程的最初和最后阶段应用；而所有中间的运算过程则用二进位制来完成。

因此，理想的计算机必须在运算一开始就放入所有的数据，以后必须尽可能没有人的干预直到运算终了。这就是说，我们不仅必须在运算开始时把数据放入机器，而且在计算过程中，组合这些数据的全部规则也必须以指令的形式放入机器，这些指令应估计到计算过程中可能发生的各种情况。因此，计算机既要是一个算术机器，又要是一个逻辑机器，它必须根据系统的算法把可能发生的事件组合起来。用来组合可能事件的算法可以有许多种，在已知最好的算法中最简单的一种叫做逻辑代数，或者叫作布尔(Boole)代数。这种算法和二进位制算术一样，都是以二分法为基础的，即以是或否的选择，在类中或不在类中的选择为基础的。这种体系比其

他体系更为优越的原因，和二进位制算术比其他算术更为优越的原因相同。

所有放入机器的数据，无论是数字的或是逻辑的，都用两个二中择一事件的一系列选择来表示；数据的全部运算也采取由一系列旧的选择决定一系列新的选择的形式。当我们把两个一位数字 A 和 B 加起来时，就得到一个二位数字，如果 A 和 B 都是 1，头一位数字就是 1，否则是 0；如果 $A\neq B$，第二位数字是 1，否则就是 0。多位数字的相加遵从类似的法则，但比较复杂。二进位制的乘法和十进位制的一样，可以简化为乘法表和数字的加法；二进位乘法的法则有着特别简单的形式，如下表所示：

×	0	1
0	0	0
1	0	1

(5.08)

因此，二进位乘法不过就是由给定的一组旧数字决定一组新数字的方法。

在逻辑方面，如果 0 是一个否定的判断，1 是一个肯定的判断，那么每个运算子都可以由以下三种运算构成：**否定**，它使 1 变为 0，0 变为 1；**逻辑加法**，如下表：

⊕	0	1
0	0	1
1	1	1

； (5.9)

和**逻辑乘法**，它的乘法表和(5.08)的(1，0)制数字乘法表相同，即

⊙	0	1
0	0	0
1	0	1

(5.10)

这就是说，计算机在进行运算时，不过就是根据事先决定的一套固定规则从 1 和 0 这两个数字中进行一系列新的选择。换句话说，计

算机是由一组结构相同的替续器构造起来的，每个替续器只能处在两个状态中的一个，即“通”或“不通”；对于每一运算步骤，各个替续器的状态由前一运算步骤中若干个或全部替续器的状态来决定。可以由某个中央同步装置或若干中央同步装置来准确地“确定”这些运算步骤的动作时间；也可以设法使每个替续器的状态保持不变，直到所有应在运算过程中动作得较早的替续器完成了全部规定步骤后，它们才动作。

计算机中使用的替续器可以是各种各样性质的。它们可以是纯机械性的；也可以是电-机械性的，例如电磁替续器，这种替续器的电枢可以一直保持两个可能平衡状态中的一个，直到某个适当的脉冲输入使它建立起另一状态为止。它们也可以是具有两个相反的平衡状态的纯电学系统，这种系统可以用气体充电管构成，也可以用动作迅速得多的高真空管构成。替续系统的两个可能状态在没有外界干扰时可以都是稳定的，或者只有一个状态稳定而另一状态是过渡性的，在第二个场合下，一定要（在第一个场合一般也要）有一种特殊的装置，把准备在将来动作的脉冲保存起来，并避免计算机因某个替续器自发地、无限地重复同一动作时所发生的障碍。以后我们还要比较详细地来讨论这个关于记忆的问题。

我们知道，能够做计算系统所做工作的人和动物的神经系统，它们的元件动作起来就像理想的替续器，这个事实值得我们注意。这些元件就是所谓的神经元或神经细胞。它们在电流影响下虽然显示一些比较复杂的性质，但它们通常的生理活动极其符合“全或无”原理，就是说，它们或者处在休止状态；或者在“激发”（“fire”）时历经一系列与刺激性质和强度几乎无关的兴奋。首先，一个兴奋从神经元的一端以确定速度传递到另一端，接着就是不应期（refractory period），在不应期中，神经元或者不能再被刺激，或者至少不被任何正常生理过程所刺激。在这个有效不应期终止以后，神经元仍然保持休止状态，但可以再被刺激而动作起来。

因此，实质上可以把神经看作一个只具有两个动作状态的替续器：激发和休止。除了从游离末梢(free endings)或感觉末梢器(sensory end-organs)获得消息的那些神经元，每个神经元得到的消息都是由其他神经元从它们的接触点处输入的，这些接触点叫作**突触**(synapse)。一根传出神经元的突触数目可有几个到几百个。在各个突触上，传入冲动的状态与传出神经元自身先前的状态组合起来决定传出神经元是否要激发。如果它既未激发也非不应，而且在某一很短的融合时间内如果"激发"的传入突触数超过了一定的阈值，那么经过已知的确定不变的突触延迟时间后，这个神经元就会激发。

也许这个图景过于简单了，可能"阈值"不是简单由突触数决定，而是由它们的"权重"(weight)和它们彼此之间的几何关系(相对于从这些突触得到冲动的神经元而言)所决定的；目前我们已有十分令人信服的证据说明，神经系统中有一种不同性质的突触，即所谓"抑制性突触"；这些突触的作用是：或者完全阻止传出神经元激发，或者至少是提高传出神经元对于平常突触刺激的阈值。然而，我们已经十分清楚，和一定神经元具有突触连结的各传入神经元上的各个冲动，只有按照某种确定的组合才能引起那个神经元激发，而其他结合则不能引起它激发。这不是说不可以有其他非神经元性的影响，也许还有一种液递性的影响，这种影响能够使足以引起激发的传入冲动组合方式发生缓慢的、经久性的变化。

神经系统的一个很重要的功能就是**记忆**，如前所述，计算机也同样要求具有这个功能，它是保存过去运算结果以待将来使用的一种能力。我们下面将看到，记忆有各种各样的用途，任何简单的机构都不可能完全满足这多种用途对它提出的要求。首先，记忆对实现一个流动的过程是完全必要的，例如对乘法，在乘法中，当运算一旦完成后，所有的中间结果就没有价值了，这时运算的装置应当空出来作其他的用途。这样的记忆应当记录得快，读得快，也要

清除得快。此外还有一种记忆，是计算机或大脑中相当于档案的记忆部分，叫经久性的记录；它是计算机未来全部行为的根据，至少是机器在一次运转中全部行为的根据。顺便提一下，我们运用大脑和运用计算机的方法有一个重要的区别：机器先后所要作的各个运算程序之间没有什么关系，或者只有最小限度的关系；其中每个程序运算后都能清除掉；但是，大脑在自然过程中，即使基本上清除它过去的记录也是不可能的。因此，大脑在正常情况下并不和计算机完全类似，但和正在完成一次运算程序中的计算机比较，倒颇为类似。我们以后将看到，这一点在精神病理学和精神病学中有其深刻的意义。

现在回到记忆的问题。建立短时间记忆的一个十分令人满意的方法，是使一序列冲动沿着一个封闭线路进行，一直到这环路被外来干扰所清除为止。我们有许多理由相信，大脑在所谓表面上的现在①(specious present)的那些冲动时，就是这种情形。这种方式已经在若干装置中模仿了，并已采用到计算机中，或者至少有人提议这样做。这种存储装置要求满足两个条件：冲动的传递应当在一种容易产生长时间滞后的介质② 中进行；在装置发生的差错还没有使冲动过分模糊以前，它就应当尽可能明晰地重新建立起来。第一个条件使我们不能利用光传递来产生延迟，甚至在许多场合也不能利用电路产生延迟，但利用这种或那种弹性振动来产生延迟则是有利的；实际上，计算机就是利用弹性振动来产生延迟的。如

---

① 表面上的现在——也叫心理学的现在。严格地说，即是过去的事情，在内心中也觉得是现在的事情的那种心理内容。即，这种心理现象可以看作是具有表面上的现在型的记忆。——日译者注。

② 这大概是依据脑皮的刺激所引起的神经元线路的循环兴奋的东西。与美国巴特莱·比肖普(Bishop)等所谓的循环线路说(theory of reverberating circuits)有关系。请参看下面论文的暂时扫描说(temporal scanning)：Pitts，W. and McCulloch，W. S.，*Bull. of Math. Biophysics*，9，127(1947)。——日译者注。

果用电路产生延迟，每个阶段产生的延迟就比较短；否则，如同一切线性装置中的情形那样，消息的变形是暴进的，很快消息就变得面目全非了。为了避免这点，必须作上述第二个考虑：我们必须在线路的某个地方装入一个替续器，它不是用来重复传入消息的波形，而是用来引发预定波形的新消息。这在神经系统中很容易做到，神经系统中所有的传递或多或少都是扳机现象(trigger phenomenon)的传递。在电器工业中，我们早已知道有了这种用途的装置，它用在电报线路中。这套装置叫作电报型中继器。运用这套装置来作经久性记忆的最大困难，就是它们必须在经受一个接一个的、大量的运算周转时不发生一次事故。目前，这方面已经得到了惊人的成就：在曼彻斯特大学威廉先生设计的一套机器中，这种装置的单位延迟时间约为百分之一秒，它能成功地连续运算数小时之久。更惊人的是，这个装置不仅仅能保存一个判断，一个"是"或"否"，而是能保存成千个判断。

和其他形式的记忆大量判断的装置一样，这个装置是根据扫描原理来工作的。在比较短的时间内贮存信息的一个最简单的方式，就是电荷贮藏在电容器中的那种方式；如果还配合上电报型中继器，这就成为一个很合适的贮存方式。为了最有效地利用这种贮藏系统的线路设备，我们希望电容器能逐个地很迅速地转接到另一个电容器，通常是利用机械惯性来达到这个目的，但这不能有超高速性。一个好得多的方法是使用大量的电容器，其中一个电极可以是一小块金属喷到一块电介质上，也可以是电介质本身的非完全绝缘表面，作为这些电容器的一个接线器(connector)的是一束阴极射线，这束射线在扫回线路的电容器和磁石的作用之下，按照一种类似田里犁地的过程那样移动。目前已经有各种不同的精巧装置来实现这个方法，实际上，在威廉先生使用这方法以前，美国无线电公司就已经以另一不同的方式来使用它了。

上面提到的这些贮存方法，即使不能把消息保持到像人的生

命的时间那样长，也能保持相当长的时间。如果要求更经久的记录，则有广泛的方法可供挑选。除了使用穿孔卡片和穿孔带这类笨而慢的不能清除的方法外，还可以使用磁带，已有能大大消除消息在磁带上的散开的最新改进品；此外，还有使用磷光物质的方法；尤其是使用照相方法。当然，照相法是作经久性和详尽记录的理想方法，从记录一次观察需要的曝光时间应当短这个观点看，它也是理想的方法。但是，它还有两个严重的缺点：显像时间显然已经短到只有几秒钟，可是如果要使照相法对短时间记忆也能有效，它还是不够短的；其次，目前的事实是，照相记录不容易迅速清除掉并迅速记入新记录。依斯特曼(Eastman)公司的人员正在研究这些问题，看来不是一定不能解决的，可能这时候他们已经找到答案了。

我们上面考虑的许多贮存信息的方法，共同具有一个重要的物理要素。这就是，它们似乎都是高度量子简并性的系统；换句话说，都是振动方式很多但频率相同的系统。铁磁性物质的情况就是这样，具有很高介电常数的物质的情况也是这样，因此这些物质特别适合用来作贮存信息的电容器。磷光现象同样是高度量子简并性的；照相过程中也显示同样性质的效应，显像用的许多物质似乎都是具有大量内部共振的物质。量子简并性的出现，是由于这种物质具有某种由很小的原因就能产生显著而稳定的结果的能力。我们在第二章中看到，新陈代谢和生殖作用的许多问题与高度量子简并性物质有关。下述的事实也许并不偶然：在无生命环境中，我们发现高度量子简并性的物质具有生命体的第三基本性质，这就是，它的接受冲动和组织冲动，并使这些冲动对外界产生效应的能力。

我们在照相和其他类似过程中看到，可以用若干贮存元件发生经久性的改变的方式，来贮存信息。当反过来要把这个储存信息重新注入系统时，必须使这些改变去影响正在通过系统的消息。有

一个最简单的方法可以做到这点，这就是我们以系统中在正常情况下参与消息传递的、能够改变状态的部分作为贮存元件，而且这些元件必须具有这样的性质，即因储存了信息而引起的元件特性的改变能够影响整个未来传递消息的方式。在神经系统中，神经元和突触就是这种贮存元件，信息所以能长期贮存在大脑中，很可能是由于神经元阈值的改变，或者采取另一个实质相同的说法，是由于每个突触对消息的透过率有改变。现在对这个现象还没有更好的解释，许多人认为，实际上信息是能按照这种方法贮存在大脑中的。可以设想，这样来贮藏信息所以可能，或者是由于新的传导路径被打通，或者是由于旧的传导路径被封锁。人在出生以后，大脑中就再不生成什么新的神经元，这显然已是充分确立的事实。可能也没有什么新的突触形成，虽然这一点还不能完全确定；而记忆过程中阈值的改变主要是在增加，这也是合理的推测。如果一切果真如此，我们的全部生命就是按照巴尔扎克在驴皮记（Peaude Chagrin）里描写的那种方式进行的：在生命自身浪费掉我们生命力的积蓄以前，学习和记忆过程本身就耗尽了我们的学习能力和记忆力。很可能这个现象的确存在。这是衰老的一种可能解释。然而，衰老的实际现象是非常复杂的，仅仅用这种说法不足以解释。

我们已经说过，计算机，乃至大脑，是一个逻辑机器。这种自然的和人造的机器对逻辑学有什么启发，考虑这个问题不是一件轻而易举的事。这方面的工作主要是由图灵（Turing）进行的①。我们说过，推理机器（machina ratiocinatrix）无非就是用机器来进行的莱布尼茨的推理演算器（calculus ratiocinator）；现代的数理逻辑也正是从这种推理演算出发的，因而目前计算机技术的发展必然

① Turing, A. M., "On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society*, Ser. 2, 42, 230—265(1936).

对逻辑学问题有新的启示。今天的科学是操作的科学①,这就是说,今天的科学认为每一种陈述本质上都联系到一些可能的实验或可观测的过程。根据这个观点,逻辑问题的研究,必然归结为对逻辑机器(神经的或机械的)的研究和对于这些逻辑机器的所有不可消除的局限与不完整性的研究。

有些读者也许要说,这是把逻辑学归结为心理学,而这两门科学显而易见不同,并且可以证明是不同的。许多思维的心理学状态和过程并不符合逻辑规范,就这个意义来说,这种见解是对的,心理学包含很多逻辑学以外的东西。但是,重要的是:任何对我们有意义的逻辑都不能包括人的智力所不能包括的东西,也就是不能包括人的神经系统所不能包括的东西。所有的逻辑,都因人的智力在进行所谓逻辑思维时的局限,而受到限制。

例如,有许多数学理论专门从事关于无限的讨论,但这些讨论和它们相应的证明事实上都不是无限的。任何一种可以接受的证明都包含有限数目的步骤。不错,运用数学归纳法所作的证明似乎包含无限个步骤,但这只是表面的。事实上,它包含下列有限个步骤:

(1) P_n 是对应于数 n 的一个命题;

(2) P_n 对 $n=1$ 的场合已经证明了;

(3) 如果 P_n 是真的,P_{n+1}就是真的;

(4) 因此 P_n 对每个正整数 n 都是真的。

自然,在我们所作的逻辑假设中,必须有一个证明论证有效的假设。然而,这里的数学归纳法和关于无限集的完全归纳法远不是一回事。对于更严格的数学归纳法形式,例如某些数学部门中的超限归纳法,情形也是如此。

这样,就会发生一些有趣的情况:我们也许能够——只要有足

① 此处维纳抱有操作主义的哲学观点。——俄译者注。

够的时间和够用的数学手段——对定理 P_n 的每一单独场合予以证明；但是，如果我们没有系统的方法把这些证明归诸一个与 n 无关的论证，例如像数学归纳法那样，我们也许就不能对所有的 n 来证明 P_n。在所谓元数学中就承认有这种特殊的情况，这个部门主要是由高德(Gödel)及其学派发展起来的。

一个证明表示一个用有限步骤达到确定结论的逻辑过程。但是，一个遵从确定规则的逻辑机器并不必要达到结论。它可以通过不同阶段不断运转，永不终止，这时它可以或者是描画出一个愈来愈复杂的活动图案，或者是进入一种反复过程，如同一盘棋在行将终局时由不断的"将军"构成的连续循环一样。在康脱和罗素的悖论中，就有这种情形。让我们来考虑由所有的自身不是自身的元的类构成的类。这个类是不是自身的元呢？如果是，那么肯定它不是自身的一个元；如果不是，那么同样又可以肯定它是自身的一个元。计算机在回答这个问题时，会不断作出相间的答案："是"，"不是"，"是"，"不是"，一直下去；不能稳定下来。

罗素解决自己的悖论的方法，是给每个状态规定一个量，叫作型，根据命题所涉及的对象(无论这些对象是最简单意义下的"事物"，或是"事物"的类，或是"事物"的类构成的类，等等)的特性，罗素用型这个量来区别形式上似乎相同的命题。我们现在也用对每个命题规定一个参数的方法来解决这种悖论，这个参数就是命题陈述的时间。在这两个场合下，我们可以把引进的量都叫作均匀化参数，它用来解除仅仅由于我们的疏忽而产生的迷惑。

由此可见，计算机的逻辑和人的逻辑十分相似，根据图灵的意见，我们可以用它来说明人的逻辑。计算机是否也有比较高级的人类特征——学习能力呢？为了看出它也可以有这个特性，让我们来考虑两个彼此密切有关的概念，即观念联合的概念和条件反射的概念。

在英国经验哲学学派中，从洛克到休谟，都把人的心灵内容看

成是由某种东西构成的，洛克把这些东西叫作观念，休谟则把它们叫作观察或印象。他们假设，简单的观念或印象存在于纯粹被动的心灵中，心灵对它所包含的观念没有影响，如同一块干净的黑板对可以写在上面的记号没有影响一样。他们又假设，由于某种内在活动（很难叫作力），这些观念根据类似原则、邻接原则和因果原则而联成一束。在这些原则中，最重要的也许是邻接原则：一群观念或印象往往在时间中或空间中一同出现，它们具有一个唤起另一个的能力，因此其中任何一个的出现就会招致整群的出现。

总之，这里包含一种动力学意义，但是动力学观念到现在还没有从物理学渗透到生物学和心理学。18世纪典型的生物学家是林耐（Linnaeus），他是一个搜集家和分类学家，他的观点与今天的进化论者、生理学家、遗传学家和实验胚胎学家的观点十分对立。的确，面对着世界上这么许多材料要去考察，当时的生物学家们的精神面貌很难不如此。同样，在心理学中，心理内容的概念压倒了心理过程的概念。现在还有人认为名词是本质的而动词的重要性不大，这大概是经院式地强调实体的遗风。虽然如此，但是，像巴甫洛夫的工作这样的例子表明，从这些静力学观念跨向今天更具动力学的观点的步伐，还是很明显的。

巴甫洛夫的工作很多是在动物上进行的而不是在人身上进行的；他研究的是可见的动作，不是内省精神状态。巴甫洛夫发现，食物能引起狗的唾液和胃液分泌增加。如果在有食物而且仅仅在有食物时，给狗看某个可见物体，那么在没有食物时，它看到这个物体也能刺激唾液或胃液的流出。洛克由内省观察到的由于观念邻接而发生的观念联合，现在变成了类似的行为方式的联合。

然而，巴甫洛夫的观点和洛克的观点之间有一个重要区别，这完全因为洛克考虑的是观念而巴甫洛夫考虑的是动作方式。巴甫洛夫观察到的应答，是促成实现一个能产生成功结果，或是避免灾害的过程。唾液对咽下食物和消化都有重要的意义，而避免痛苦的

刺激能使动物不遭到躯体上的损伤。因此，在条件反射中一定参与了某种东西，可以把它叫作情调(affective tone)。我们不必要把它和我们自己的苦乐感觉联系起来，也不必要把它抽象地和动物的利益关系联系起来。重要的问题是，情调是按某种尺度，从负值—"痛苦"—向正值—"快乐"来变化，情调的增加在相当长时间内或者永远地有利于神经系统当时进行的全部过程，并使这些过程具有进一步增加情调的二次能力；情调的减少则倾向于抑制神经系统当时进行的全部过程，并使这些过程具有进一步减少情调的二次能力。

当然，从生物学上说，较大的情调主要应当出现在有利于种族繁荣的场合，虽然这对个体不一定有利；而较小的情调主要应当出现在不利于种族繁荣的场合，虽然这对个体不一定有害。任何不符合这个要求的种族，都要走上卡诺尔的"牛油面包上的苍蝇"的道路，最后总要灭亡。然而，即使是一个走向灭亡的种族，只要它还继续存在，情调机构仍然有效。换句话说，即使具有最自杀性的情调配置的种族，它也有确定的行为方式。

我们要注意，情调机构本身就是一个反馈机构。我们甚至可以用图解把它表示如下：

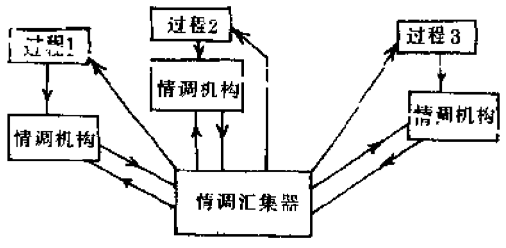


图 7

这里，情调汇集器按照某种规则把各个分散的情调机构在过去短时间内发出的情调结合起来，我们现在不必要来说明这种规

则。从汇集器返回到各个情调机构的线路，是用来根据汇集器的输出，改变各个过程的固有情调，这种改变一直保持到有新的消息来自汇集器才有新的变化。从汇集器返回到各过程机构的线路，在总情调增加时，用来降低阈值；而在总情调减少时，则用来提高阈值。这些线路也是长时间性的，一直等到另一个来自汇集器的冲动到来，才有所改变。然而，这个延长作用只限于在返回消息到达的时候实际存在的那些过程才具有。对各个分散的情调机构的效应，也有类似的限制。

我想强调一下，我不是说，条件反射的过程就是按照我所描述的机制进行的；我不过是说，它可以这样进行。但一旦假定了这种机制或其他类似的机制，我们就能谈到许多有关它的问题了。其中一个问题是，这种机制是能够学习的机制，我们已经了解，条件反射是学习的机制，这个观念在行为主义者研究老鼠在迷宫中学习时就已经采用了。当老鼠在迷宫中时，全部的关键在于：在我们所用的诱导或惩罚中，分别具有正的和负的情调。实际情形肯定是这样的，因为受试者不是简单地用先验的考虑而是根据经验来学习情调性质的。

研究这样一种机制也是相当有趣的：这种机制能将一定的消息群，不经过神经系统而送到所有处在接受它们的状态的那些元件上去。这些消息群可以是从情调汇集器返回来的消息，在一定程度上，也可以是从情调机构到汇集器的消息。汇集器不一定要是一个独立的元件，它可以仅仅代表一种作用，这种作用能将来自各个情调机构的消息加以自然的结合。这些“敬告所有与此事有关者”(to whom it may concern)式的消息，完全可以用最低的装置成本，通过其他非神经性通路，最有效地发送出去。例如，通常一个矿区的通讯系统都包括一个电话中心站以及相应的线路和各种装置。当发生紧急状态要人们都离开矿区时，我们不是依靠电话中心

站来发消息的，而是靠打破通风入口处的硫醇[1]管来使人们获得消息的。像硫醇或像荷尔蒙这类的化学送信者，对于不是发给特定接受者的消息说，是最简单最有效的送信者。现在让我插进一个看着像纯粹是空想的问题。荷尔蒙活动所具有的那种易于引起感情和激动的性质是很发人深思的。这并不意味纯粹神经机构不能是情调的机构和学习的机构，而是意味我们在研究心理活动这方面时，不能不看到荷尔蒙传递消息的可能性。在弗洛依德(Freud)的理论中，把记忆——神经系统的贮存功能——和性活动这两方面概括到一起，可是如果把上面的看法和这个学说联系起来，大概就是极端的空想了。一方面是性，另一方面是全部的感情内容，有一个很强的荷尔蒙要素把两者联接起来。性和荷尔蒙的这个重要性是莱特文博士和塞尔弗烈兹先生向我提到的。虽然现在还没有适当证据来证明这个说法的正确性，但原则上显然不是荒谬的。

在计算机的性能中，并没有什么阻碍它显示条件反射的东西。我们要记住，一个在动作中的计算机，不仅是设计者设计在其中的替续器和贮存机构的连结。它还包含计算机贮存机构所储存的内容；这个内容在机器一次运转的过程中是不能完全清除掉的。我们前面提到，与其说计算机的整个机械结构和个体生命相当，不如说它的一次运转和个体生命相当。我们也提到，在神经计算机中，信息所以能长期贮存起来，很可能是由于突触透过率的改变；我们完全能够建造一个用这种方法储存信息的人工机器。例如，我们能够使任何消息进入储存系统时，以一种经久性的或半经久性的方式，改变一个或若干个真空管的栅偏压，这样就改变了引起真空管接通所必需的脉冲总数。

更详细地考虑计算机和控制机构中的学习装置及其用途。不宜由这本入门性质的书来作，最好把这个工作交给工程师去作，在

① 硫醇——一种氧被硫所替代的醇，具有恶臭的液体。 俄译者注。

本章以下的部分中，谈谈现代计算机的几个已经成功的普通用途，也许更合适些。计算机的主要用途之一就是解偏微分方程。当数据涉及到正确地表示两个或两个以上变数的函数时，即使对线性偏微分方程，要编制它们也需要记录大量的数据，因为精确地描述两个变数或多个变数的函数需要很多数据。对双曲线型方程，例如波方程，典型的问题是当给定初始数据时求方程的解，我们可以从初始数据顺序地得到以后任何给定时刻的结果。对抛物线型方程，大多数场合也是如此。对于自然数据是边界值而不是初始值的椭圆型方程，求解的自然方法包括一个逐步近似的累进过程。这个过程需要反复进行许许多多次，因此，像现代计算机的那些高速方法是不可缺少的。

在非线性偏微分方程场合，不像线性微分方程那样有一个合理有效的纯数学理论。这时，计算机方法不仅对处理特殊情形下的数字解显得十分重要，而且，正如冯·诺意曼指出的，在为了熟悉大量的特例以便建立一个普遍理论时，它也是必要的。在一定程度上，我们已经借助价格高昂的实验仪器实现了这个要求，例如借助于风洞。我们就是通过这个途径了解到冲激波、滑脱面、湍流等等现象的许多极其复杂的性质，而对于这些现象，我们还根本没有建立一个适当的数学理论。究竟还有多少尚未发现的类似现象，我们不知道。模拟计算机的准确度比数字计算机的要小得多，在大多数场合下也慢得多；因此，后者在将来是大有指望的。

现在已经清楚，使用新的计算机要求它特有的纯数学技巧，这种技巧和运用笔算或容量较小的计算机时所使用的完全不同。例如，在使用能计算中等高阶的行列式的计算机时，或使用能解 20 个或 30 个联立一次方程的计算机时，我们要遇到在研究低阶的类似问题时所不会发生的困难。除非在处理问题时非常小心，不然，我们完全可能丢掉任何有效数字的解。一般认为，像快速计算机这样精密的有效工具，如果掌握在没有足够熟练技巧来充分利用它

的人手中，是不能发挥它的力量的。快速计算机少不了需要具有高度理解水平和技巧训练的数学家。

在计算机的机械结构或电结构中，有几个原则应当加以考虑。一个原则是，有些比较经常用到的机器，像加法机或乘法机，应当装配成只适合某一特定用途的相对标准化的形式；那些不经常用到的机器则应当在要用到它时，由一些也能用到其他目的的元件来凑成。与此密切有关的另一个原则是，在这些通用的机构中，各个部件应当根据它的通用性来得到利用，不应当把它们固定地和其他装置特定地联系起来。机器中应当有一部像自动电话交换台那样的装置，能够自动寻找空着的组成部件和各种连接器，并且在需要它们的时候将它们接通。这样，就会大大避免由于机器中大量元件不经常使用而产生的很大浪费，因为这些元件只能在用到整个机器时才用得上。我们将看到，这个原则对我们考虑神经系统的运输问题(traffic problems)和过载是很重要的。

最后要指出的一点是，一个巨大的计算机，无论是机械装置形式的，或电装置形式的，或是大脑本身，都要浪费掉大量功率，所有这些功率都被废弃掉了，并且都逸散为热。从大脑中流出的血液，要比进入大脑的血液温度高几分之几度。没有任何一种计算机的能量消耗接近大脑这样经济的程度了。在 Eniac 或 Edvac 这类巨大的计算机中，真空管灯丝消耗的能量是以千瓩计的。如果没有适当的通风和冷却设备，计算机就要出现一种和机械上发热病相当的状态，直到机器的参数由于热度而发生根本的改变，以致停止运转。但是，机器每个操作的能量消耗还是小得几乎可以不计，甚至不能成为机器运转的有效度量。机械大脑不能像初期唯物论者所主张的“如同肝脏分泌胆汁”那样分泌出思想来，也不能认为它像肌肉发出动作那样能以能量的形式发出思想来。信息就是信息，不是物质也不是能量。不承认这一点的唯物论，在今天就不能存在下去。

第六章

完形和普遍观念

上一章讨论的各个问题中有这样一个问题，即是用洛克的观念联想学说来说明神经系统机构的可能性。洛克认为联想是按照邻接原则(principle of contiguity)、类似原则和因果原则进行的。因果原则曾经被洛克，尤其是被休谟归结为经常伴随着发生的事物，因而可以归并到第一个原则——邻接原则中。至于第二个原则——类似原则，需要作比较详细的讨论。

当我们侧看、斜看或正看一个人面孔的时候，我们怎样把握他的容貌的同一性呢？一个圆，无论是大的或小的、远的或近的，无论是在垂直于从眼球到圆心这一直线的平面上，因而看来是个圆，或是在其它方位上，因而看来是个椭圆，我们怎样判定它是一个圆呢？从天上云朵或罗夏测验(Rorschach test)① 的墨污中，我们又怎样看出了人面、动物或地图呢？这一切都是关于眼睛方面的例子，别的感官也有同样的问题，而且有些问题牵涉到各感官之间的关系。我们怎样用语言来表现虫鸣鸟叫？我们又怎样通过触觉来认出一块硬币的圆形呢？

我们暂且把探讨范围限在视觉方面。当我们比较不同对象的

① 罗夏测验　瑞士心理学家罗夏所提出的一种心理技术测验。这种测验，根据受试者从墨水污点中看出的图画，来判断他的智力倾向。例如，看出野兽的图画就与思想的刻板有关。——俄译者注。

形状时，眼睛和肌肉的相互作用确是一个重要的因素，无论这里所讲的肌肉是眼球内部的肌肉，或是使眼球转动的肌肉，或是使头部转动的肌肉，或是使整个躯体转动的肌肉。的确，一定形式的视觉一肌肉反馈系统即便在像蠕虫这样低等的动物界中也是重要的。蠕虫的背光性(negative phototropism)，即回避光线的倾向，似乎是由两个感光器官来的冲动的平衡来控制。这个平衡反馈到躯干上的肌肉，躯体就避开了光；当它再和一般向前运动的冲动结合时，就会把动物带到附近最黑暗的地方。注意到下面一点是很有趣的：如果我们将一对带有放大器的光电管、一个用来平衡这对光电管的输出的惠士通电桥和另外一些用来控制两个电动机(推动双螺旋桨机构用的)的放大器等部件组合起来，就可以给一条小船装上一套非常合用的背光控制装置。要把这个装置缩小到蠕虫可以携带的程度，当然是困难的或不可能的；然而，我们这里只不过是再举一个例子来说明读者们早已熟悉的一个事实：生命体机构的空间尺度比最精巧的人造机构要小得多，但在另一方面，由于使用了电子技术，人造机构在速度上就大大超过了生命体。

让我们撇开各个中间阶段，立即考虑人的眼-肌反馈问题。有些反馈纯粹是自动调节性质的，例如：瞳孔在暗处放大和在亮处缩小，就是要把进入眼睛的光流量限制在一定范围内，使得明暗的变化不至于太大。另一些反馈与以下的事情有关：即人眼把它对于形状和色彩感觉的最敏锐部分，非常经济地局限在相当小的中央凹上；对于事物运动的知觉的较敏锐的部分则局限在网膜边缘。当边缘视觉把亮的、明暗对照强烈的或色彩鲜明的，特别是运动着的对象捕捉到以后，就有一个反射的反馈把对象带到中央凹。跟着这个反馈系统出现的是一个有相互连结的副反馈的复杂系统，它引导两个眼球移动，使得吸引我们注意的对象落到每个眼睛的视野的相同部分，同时调节晶状体的焦点尽可能地使对象的轮廓变得明晰。除了这些动作以外，头部和躯体也作一些补充动作，如果单靠

眼睛的运动不能把对象带到视野中心来；或者当其他感官发现了视野以外的对象时，这些运动能够把它引进视野。除此以外，我们习惯于从一定方向来考察各种对象——诸如笔迹、人面、风景等等，这里也有一种把对象推向特定方向的机构。

所有这些过程可以总结为一点：我们要把任何吸引我们注意的对象放在标准的位置和方向上，从而使我们所形成的视象能够在尽可能小的范围内变化。这些并非是我们知觉事物的形态和内容的全部过程，但是它确实便利了我们为了达到这个目的而后来进行的一些过程。这些随后的过程是在眼内和视觉皮质上进行的。我们有大量的证据说明：就这个过程的大多数阶段来说，每个阶段中用来传递视觉信息的神经元通道的数目都在减少，同时把视觉信息逐步地变为接近于我们在记忆中使用的和保存的形式。

在视觉信息汇集的过程中，第一步是网膜和视神经之间的过渡。应当记住：中央凹的棒细胞与锥体细胞几乎是和神经纤维一一对应的，但在边缘上，一条视神经纤维可以和十个乃至更多个的末梢器官相对应。这一点是容易理解的，只要我们考虑到这样的事实：边缘纤维的主要功能不在于视觉本身，而在于为眼睛的定中心、聚焦和导向机构找到对象。

视觉的最惊奇的现象之一就是我们认识轮廓画的能力。譬如说，一幅人面的轮廓画和面部本身在色彩或明暗部分上显然没有多少共同点，但它可以是这个人的最像的画像。对于这种现象，最合理的解释是：在视觉过程的某个阶段，轮廓被强调起来，而影象的其他部分的重要性则被减少到最低限度。这些过程的起点是眼睛。和所有感官一样，网膜也有适应作用：一个持续的刺激会使网膜接受和传递该刺激的能力减弱下来。对于那些纪录具有不变的色彩和照度的一大块影象的内部状况的感受器说来，适应作用表现得最为明显，因为即便是焦点和凝视点有些轻微的波动（这在视觉中是不可避免的），也不会改变我们所得到的影象的性质。但是，

在两个对照区域的边界上，情况就完全不同了。在这里，焦点和凝视点的移动就会产生交替的刺激；这种交替，如同我们在余象中看到的情况一样，不但不使视觉机构因适应作用而反应减弱，反而提高了它的感受性。无论这两个邻接区域之间的对照是光强的对照抑是色彩的对照，上述情况都存在。要解释这些事实，我们应该看到：视神经中有 3/4 的纤维只在发光体"闪"光时才有反应。因此，眼睛得到事物的最强印象的部位是在边界上，而且事实上，每个视象都具有某种素描的性质。

也许这种作用不全是边缘感觉的作用。在摄影术中，我们知道，一块感光板经过多种处理后可以增加它的明暗对照；这些非线性的现象肯定没有超出神经系统所能做到的范围，我们可以把这些现象和我们以前提到的电报上所用的中继器联系起来看。和电报上所用的中继器相似，在视觉现象中，这种中继器使用一个尚未模糊到超出一定程度的印象去引发(to trigger)一个具有标准明晰度的新印象。无论如何，这种现象减少了一个影象所携带的无用信息的总量。这也许跟大脑视觉皮质区域各层中传导纤维数目减少的部分有关。

以上我们把视觉印象产生的过程分解为几个实际的或可能的图式化阶段。我们使我们的影象结聚在注意的焦点的附近，并把这些影象或多或少的简化为轮廓。其次，我们把它们作相互的比较，或者至少把它们和存贮在我们记忆中的标准印象——例如"圆"或"正方形"——作比较。比较的方法可以有多种。我们前面已经做过一个概略的说明，指出洛克关于联想的邻接原则如何可能用机械来实现。我们应该看到邻接原则在很大程度上包括了洛克的类似原则。我们常常通过下述过程，看到同一对象的不同方面：把对象带到注意的焦点和进行一些其他的动作，使我们能在这个或那个距离，这个或那个角度看到对象。这是一个普遍的原理，不限定在特殊的情况才能使用，而且在比较我们的更为复杂的经验的时

候无疑是很重要的。但是，就我们基于视觉得到的普遍观念或者如洛克所讲的"复合观念"的形成看来，上述过程未必是唯一的。我们视觉皮质的构造是高度组织化的、特殊化的，如果认为它的操作是由一个非常一般化的机构来进行，那是不对的。它给我们这样的印象：在我们面前的是一个特殊机构，这个机构并不简单是由一些可以通用的元件和一些可以互换的部件临时配合起来的，相反，它是一个如同计算机的加法装置和乘法装置那样固定的部分装置，在这样情况下，研究一下这个部分装置可能是怎样工作的和我们应该怎样把它设计出来都是值得的。

一个对象的所有透视变换构成了我们在第二章已经定义了的所谓"群"。这个群又定义几个变换子群：只由那些不涉及无穷远区域的变换所构成的仿射群；围绕一给定点的均匀膨胀变换，亦即这个点和坐标轴方向以及所有方向上的标度均匀性都保持不变；长度保持不变的变换群；围绕一个点旋转的二维和三维的旋转群；所有的平移群等等。以上所讲的子群都是连续群，也就是说，它们的运算决定于在某种相应空间中连续变化的参数值。因此，它们在 n 维空间中形成多维构形，同时，含有在这个空间中构成区域的所有变换子集。

普通二维平面中的一块区域，被电视工程师所讲的扫描过程扫过时，这整块区域是由在该区域中近于均匀分布的一组表样点(sample positions)来代表。同样，群空间的每个区域连同整个群空间也可以用一个群扫描过程来表示。在这个不限定在三维空间内使用的扫描过程中，空间内网状分布的一组点被一个一元序列所扫遍，而且这些网点应当这样来分布，使得在适当定义了的某种意义上说，它们能接近区域中每一个点。因此，这个网所包含的点可以根据需要接近于任何一组被挑选出来的点。如果这些"点"或参数集实际用来生成相应的变换，那么，用这些变换来变换一个给定图形的结果，可以任意接近于对这图形的任何给定的由一存在

于指定区域的变换运算子来实现的变换。如果我们的扫描十分精细，如果被变换的区域具有被研究的群所变换的区域的最大空间尺度，那么，经过扫描变换所得到的区域，与对原来的区域作任一变换所得的区域，其重迭的程度可以根据我们的需要达到其面积的任意大的一部分。

因此，我们可以从一个标准的比较区域和一个用来和它比较的区域出发。在变换群扫描的任何阶段上，如果被比较的区域在某个扫描变换下形成的象，比给定的允许限度还要完满地迭合在标准形象上，那么就把它记载下来，并且说这两个区域是相似的。如果在扫描过程的任何阶段上都不发生迭合，我们就说这两个区域是不相似的。这个过程完全可以机械化起来，作为识别图形形状的一种方法，而与图形的大小、方向以及与包含在被扫描的群区域中的是何种变换无关。

如果这个区域不是群的全部，那就可能这样：区域 A 看来和区域 B 相似，区域 B 看来和区域 C 相似，但区域 A 看来和区域 C 不相似。这种情况实际会发生的。至少，就直接印象（一种不包含任何高级过程的印象）说来，一个图形可以和它的倒图形没有任何特别相似之处。但是，在这个图形倒转的每个阶段上，可以有一个相当范围的邻接位置和它相似。按照这样方式形成的一些普遍“观念”并不是绝对区别开的，而是彼此有交叉的。

使用群扫描从群变换中抽象出普遍观念还可以有其他一些较为复杂的方法。我们这里考虑的群都是有“群测度”的，即由变换群自身决定的几率密度，而群中所有的变换被该群中的任一特定变换左乘或右乘而发生变化时，它仍然不变。我们可以用这样的方式扫描一个群：令一个相当任意性的区域的扫描密度——即扫描变元扫遍该区域的时间总和——和群测度非常近于正比例的关系。在这种均匀扫描的情况下，如果有任一个量依存于群变换的元所构成的集合 S，如果这个集合被群的全部变换所变换，我们把这个

依赖于 S 的量表示为 $Q(S)$，并用 TS 表示集合 S 被群变换 T 变换的结果。这样，当我们用 TS 代替 S 时，则 $Q\{TS\}$就是代替 $Q\{S\}$的量值。如果我们对变换群 T 的群测度求这个量的平均或积分，则得一个量，可以写成如下的形式：

$$\int Q\{TS\}dT, \tag{6.01}$$

这里是对群测度求积分的。量(6.01)对于在变换群作用下的所有可以相互交换的集合 S 都是恒等的，也就是说，对于所有一定意义下的集合 S，这个量都有同一的形态或完形。如果(6.01)中的积分不是对整个群来积分的，如果被积函数 $Q\{TS\}$在被略去的区域数值很小，那么，我们就可以对形态作一近似地比较。关于群测度要说的就是这些。

近些年来，人们十分关心用一种感官来弥补另一种感官的缺陷的问题。在各种弥补缺陷的尝试中，最引人注目的就是使用光电管的盲人读字器的设计，我们假定这方面的尝试只限于印刷物，甚至只限于一种或几种字型。我们还假定把页面放平正、对准字行以及从这一行到下一行的移动等是用人手或自动地进行，后一种是可以实现的。我们可以看到：这些过程与我们依靠肌肉反馈，并使用正常的对准、定向、调准焦点以及使两眼一致的装置而得到视觉完形的过程相当。进一步的问题是要在扫描装置顺序地扫过各个字母的时候测定它们的形状。有人主张按垂直方向依次安排几个光电管，这些光电管各自与不同音调的发音装置相连结。这可以对字母黑色部分用不发音或发音来记录。假定我们采取这个办法，并假设三个光电管接收器一个接一个地迭起来。令这些接收器像一个弦的三个音调一样来描述字母，字母上部为高音，下部为低音。于是，大写字母 F 可以记作：

————高音持续的时间；

————中音持续的时间；

——　　低音持续的时间；

大写字母 Z 记作：

————

　——　　；

————

大写字母 O 记作：

　——

——　——；

　——

等等。加上我们理解能力的帮助，这种听觉符号不是太难读的，譬如说，不会比盲人用的凸字更难读。

但是，这一切决定于一个条件：光电管群和字母上下的高度要有适当的关系。我们知道，即使是标准字型，它们的大小还是很不相同的。因此，扫描在垂直方向的标度应当可大可小，以便把字母的印象变为标准印象。至少，我们应有一些通过人工或自动的方法来实现的属于垂直方向的膨胀变换群的变换装置。

有几个办法可以达到这个目的。我们可以使光电管作垂直方向的机械调节。另一个方法是把大批的光电管垂直排列并随字型大小改变音调的分布，使得位在字型上面和下面的那些光电管都不发音。这可以如下图所示的办法来实现，我们可以用两组接线来构成线路，在这个线路中，从光电管出来的输入线连到一串愈来愈散开的电开关上，各垂直线则是输出线。

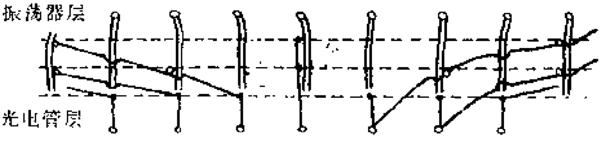


图 8

图中单线表示从光电管出来的导线，双线表示接到音频振荡器上去的导线，虚线上圆圈表示传入和传出导线之间的连接点，虚线本身表示用来开动某一组音频振荡器的导线。这就是我们曾经在导言中提到的麦克卡洛设计的用作调节字型高度的装置。在最初设计时，虚线之间的选择是靠人手来进行的。

冯·波宁博士看到这个图形后，说它相当于视觉皮质的第四层。连接的圆圈相当于这一层的神经细胞体，这些神经细胞体是分布在各子层中，其分布的水平密度作均匀的改变，而子层的大小则随密度的增加而缩小。水平方向的导线能够按照某种循环的次序被激发(fired)。全部装置看来完全适合于群扫描的过程。当然，还必须有一个随时将上部的输出加以重新结合的过程。

这就是麦克卡洛建议的实际用来探究大脑中视觉完形的仪器。它是一部可以用作各种群扫描的典型仪器。其他感觉的情形也和视觉相似。在人耳中，从一个主调到另一个主调的音乐转调无非就是频率对数的转移，因而也可以用群扫描的装置来进行。

因此，群扫描机构有它确定的、对应的解剖学上的结构。所需的开关动作，可以借助于一些专门的水平导线来实现，这些导线提供足够的刺激来改变各层的阈值，使得当某一导线与该层接通时，可以通过阈值的改变，来调节引起该层细胞达到兴奋状态所合适的刺激量。虽然我们不知道这个机器运转的全部详细情况，但是不难猜想出一个与解剖学结构相一致的一种机制。总而言之，群扫描机构完全可以成为大脑的一种固定部件，它相当于数字计算机中的加法器和乘法器。

最后，扫描装置应该具有一定的固有的操作周期，这个周期应该与大脑的整个动作相一致。这个周期的大小程度应当是直接比较大小不同的对象的形状时所需的最短时间。只有当两个对象大小相差不太悬殊的时候，这种情形才有实现的可能，否则，扫描过程就是一个长时间过程，需要由一个非专门机构来完成。如果能够

直接比较对象，则需要的时间为1/10秒数量级。这和在循环序列中刺激所有横向连接线层所需要的刺激时间在数量级上似乎也是一致的。

虽然这个循环过程是一个可以局部决定的过程，但我们有证据证明皮质各部分有普遍的同步性，可以设想这是由某个计时中心驱动的结果。事实上，脑动电流记录图(electroencephalogram)表明：它的频率和大脑 ∂ 节律(rhythm)固有的频率的数量级相同。我们可以猜想 ∂ 节律和形状知觉有关，它具有扫描节律的性质，就像电视机扫描过程所显示的周期性一样。这种现象在熟睡的时候消失了；当我们注视某一物体的时候，的确如我们所猜想的，它似乎被其他节律混扰和叠盖了；扫描节律成了其他节律和其他活动的负载者。值得注意的是：当我们在清醒的时候闭着两眼，或者像在瑜伽(Yogi)的抽象环境中那样凝视着一无所有的太空①，这时候的 ∂ 节律具有一种近似完全的周期性。

如上所述，我们看到感官补缺的问题把原来由某一损坏的感官所传递的信息由一健康的感官代替传递的问题——是一个重要的而且不一定不可解决的问题。使得这个问题更有希望得到解决的事实是：由一种感觉所正常激发的记忆区域和联想区域并不是像一把钥匙开一把锁那样只属于这种感觉，而是可以用来存贮这种感觉以外的其他感觉所提供的印象。一个盲人，如果不是天生的，他不但可以保留瞎眼以前的视觉记忆，而且能够以视觉形式存贮触觉和听觉的印象。当他在室内走动时，他不但能摸索出自己的道路，而且对房子还有一个看起来应当如何的视象。

因此，盲人可以得到部分正常的视觉机构。另一方面，他损失的不仅是两只眼睛；他还损失了运用视觉皮质部分(它被认为是构成视觉印象的固定机构)的能力。因此，要弥补他的缺陷，不仅要用

① 瓦尔特(W. Grey Walter)博士自英国布列斯特的私人通信。

人造的视觉接受器，而且要用人造的视觉皮质，以便把这个新接受器上的光印象翻译为与他的视觉皮质的正常输出相关连的形式，使得通常看来是相似的对象现在变为听来是相似的对象。

因此，判定用听觉代替视觉是否可能至少部分地是与皮质各层上可以加以区别的视觉模型和听觉模型的数量之间的比较有关。这是信息量的比较。鉴于感觉皮质的不同部分具有组织上的某种类似，大脑皮质的两个不同区域之间的面积比较作为判定的根据可能不会相差很远的。视觉与听觉面积之间的比例大约是100∶1。如果听觉皮质全部用于视觉，我们可以期望得到的信息接受量大约相当于通过眼睛得到的信息量的1%。另一方面，我们估计视力的通常标准是对某形象获得某种程度的分辨能力的相对距离，因此，1%的视力就是正常情形下1%的信息量。这是非常低的视力，但是，肯定还没有全瞎，具有这样程度的视力的人也不自认为是瞎子。

从另一个角度看，这个图景甚至是更有利的。仅仅用百分之一的视力就可以代替听觉去识别全部听觉的细微差异，还留下大约95%的视力，可以说视觉基本上还是完整的。因此，感官补缺问题是一个非常有希望的研究领域。

第 七 章

控制论和精神病理学

在开始写这一章时，我必须先交代一下。一方面我既不是一个精神病理学家，也不是一个精神病治疗家，我缺少关于这个领域的任何经验，而在这个领域里，经验的指导是唯一可靠的指导。另一方面，我们关于大脑和神经系统的正常动作的知识，还远远没达到可以信赖一个先验理论那样完善的地步，更不要说关于它们反常动作的知识了。因此我想事先放弃那种主张，即认为任何具体的精神病理学的现象，例如克拉帕林(Kraepelin)及其学派所记载的那些症状，是由于像计算机一般的大脑组织的特殊故障产生的。谁要是根据本书的一些观点得出这个特定结论，那就由他自己负责。

然而，如果认识到大脑和计算机有许多相同之处，这就可以给精神病理学，甚至精神病治疗学提供一个新的有效的研究方法。这方面的研究也许可以从所有问题中最简单的一个问题开始：大脑是怎样避免由于个别部件失灵而引起动作上的重大错误和重大失败的？对于计算机，类似的问题具有重大的实践意义，因为计算机的运算过程可以延续进行几小时或几天，而每个运算操作的时间却不到百万分之一秒。很可能，一次计算操作的过程包含 10^9 个运算操作步骤。在这种情况下，即使弄错一次运算也决不是可以忽视的。虽然，现代电子学仪器的可靠性事实上已经大大超过最大胆的估计。

在通常用笔算或用台式计算机来进行的计算工作中，照例要

把每一道计算步骤都检验一下。在找到了错误的时候，就从发现错误的地方开始一步步往回推算，去寻找错误的所在。如果要一部高速计算机来做检验工作，检验工作就要进行得同机器的计算速度一般快，否则，机器的整个有效速度将降低到较慢的检验过程的速度。此外，如果机器要把计算的全部中间结果的记录都保存起来，那么它的复杂程度和体积都将增加到不可容忍的地步，很可能比原来的大两倍或三倍。

一种更好得多的检验方法，也是实际上常用的一种方法，就是每一道运算同时交给两套或三套分别的机构去做。在用两套机构的时候，它们能够自动地相互校对答案；如果发生差异，所有的数据就都移存到永久性记忆装置里去，计算机停止动作，并且给操作者发出产生了差错的信号。然后操作者比较两者的结果，根据结果寻找那个出了毛病的部件，也许是一个真空管烧坏了，需要更换。如果每一阶段都用三套分别的机构，由于实际上出一次毛病的机会是很稀见的，三套机构中总有两套的答数一致，这个一致的答数就是所求的结果。在这情况下，校验机构接收多数答案，机器不需要停止，只给出一个表示少数答案和多数答案在哪里发生差异和怎样发生差异的信号。如果在发生差异的最初瞬间就发出信号，那么差错地点可以十分准确地被指示出来。在一架设计良好的计算机里，一个元件并不是只固定担负一连串运算中的某一特定步骤的工作，而是在每一步骤中都有一个很像自动电话交换机中使用的搜索过程，它会寻找出某一种立即可以使用的元件，把它接进运算序列中去。这样，拆卸和掉换损坏了的元件就不会耽误大量时间。

我们可以设想而且相信，神经系统中至少也存在两套进行这个过程的元件。我们不能设想任何重要的消息可以交给单个神经元去传递，或是把任何重要操作交给单一的神经机构。像计算机一样，大脑可能也是按照类似卡诺尔在“猎取蛇鲨”的故事里所说的

那个原则进行工作的，这个原则就是："我告诉你三次的就是真实的"。如果认为传递信息的各个通路就是一般地把信息从一端传到另一端，中间没有任何吻合，那也是不确实的。更可能的是，当消息到达了神经系统的某一级时，它可以通过所谓"神经元丛"(internuncial pool)中的多个不同途径由这一级中的一点到下一级去。诚然，神经系统中也有那样一些部分，这种可更替性受到很大限制或根本没有，它们大都是大脑皮质中高度专业化的、作为外感觉器官的内延伸的部分。但是，对于大脑皮质区域中担负着联想作用和所谓高级精神机能的那些比较不专业化的部分，上述原则仍然成立，而且可能更显得突出。

直到这里，我们考虑的是正常活动中的差错，这只是广义上的病态动作。现在我们来谈一谈更明显的病态动作。精神病理学多少使抱着本能的唯物主义观点的医生感到失望，他们总认为每种症状必然伴随着某个特定组织中物质方面的损伤。不错，有些大脑的特殊损伤，例如外伤、肿瘤、血栓等等，可以引起精神症候；也有些特定的精神病，例如不全麻痹，是一般躯体性疾病的后遗症，并伴随脑组织的病变。但是对于严格的克拉帕林型精神分裂症患者，或是躁郁狂精神病患者，或是妄想狂病患者，我们却无法从患者的大脑病变来分辨它们。我们把这些疾病叫作机能性疾病；这种区分方法似乎违反了现代唯物主义的教条，现代唯物主义认为，任何一种机能失调必定在有关组织上存在某种生理学的或解剖学的根据。

机能性疾病和器质性疾病的这种区别，可以从计算机的研究中得到很多启示。我们已经看到，和大脑——至少和成人的大脑——相当的，不是计算机的空洞的物质构造，而是这一构造同运算过程开始时所给的指令以及同运算过程中贮藏起来的和从外界得到的附加信息的结合。这种信息是以某种物理形式——记忆的形式——贮藏起来的，但其中一部分属于循环记忆的形式，具有随着

机器的停闭或脑子死去而消失的物理基础；而另一部分则是长期的记忆，它的贮藏方式我们现在只能加以猜测，但可能它也具有随着死亡而消失的物理基础。我们现在还没有方法在尸体上认出一个给定突触在生前具有多大的阈值；即使我们知道了这一点，我们也无法追寻出同这个突触相接通的神经元和突触所形成的链，以及作为记录思想内容的这条链的意义。

因此，把机能性精神失常基本上看作记忆的疾病，看作大脑在活动中所保持的循环信息的异常，看作突触的长时间透过率(long-time permeability)的异常，也没有什么奇怪。甚至在不全麻痹这种极其严重的疾病中，大部分症候也不是由于有关组织的破坏和突触阈值的变化产生的，而是由于最初的伤害所必然引起的消息传导的次级混乱、剩下的神经系统和其他消息传递通路的过度负荷所产生的。

在一个包含大量神经元的系统中，循环过程是难以长期保持稳定的。或者就像"仿佛现在"这种记忆过程，循环过程在进行中或者逐渐被削弱，终于消失；或者它们要牵动愈来愈多的神经元，直到占用了神经元丛中过大的一部分。后一情形大概就是焦虑性精神病中见到的恶性忧虑的原因。在这情形下，病人的脑子里可能没有空余的地方，即没有足够数目的神经元去进行正常的思索。在这种状况下，也许大脑中的未病的神经元的负担会少一些，因此它们更容易被逐渐扩大的过程牵扯进去。而且，经久性记忆也愈来愈深地受到影响，起先病理过程还在循环性记忆这一级上，后来就可能在经久性记忆这一级上一再顽固地出现。这样，当初只是比较轻微而偶然地破坏了的稳定状态，逐渐就可能完全破坏正常的精神生活。

在机械或电气计算机中，也并不是找不到类似性质的病理过程。齿轮上某个轮齿可以和同它衔合的轮齿错开，以致再不能同它恢复正常关系；一个高速电子计算机可以发生似乎无法中止的循

环过程。这种意外的起因就是由于这个系统中出现了某种非常不容易发生的瞬间状态，在修理以后，它也许永远不再发生或以后极少发生。但是，当它们发生的时候，就会暂时使机器失灵。

在使用计算机时，遇到这种意外怎么办呢？我们想要做的第一件事，就是洗去机器中的所有信息，希望它在计算别的数据时不再发生故障。若是这样做无效，如果发生故障的地点是信息清洗机构永远或暂时不能达到的，我们就要把机器摇晃一下，或者如果是电气机器，就将异常大的冲击电压送入机器，希望能达到原先不能到达的部分，以便改变它的状态，使它的错误循环活动中止。如果这也失败了，我们可以切断机器上发生故障的部分，因为剩下来的部分可能还是足够应用的。

但是，除了死以外，没有一个正常的过程可以完全清洗大脑中所有过去的印象；而在死亡以后，就不可能再把脑开动起来。在所有正常过程中，睡眠最像是非病理的清洗了。我们知道，要摆脱一种恼人的焦虑或是思想混乱，睡眠一下是最好的方法。这种情况是多么常见呵！然而，睡眠并不能洗掉较深的记忆，真的，相当恶性的焦虑状态不是用适当睡眠所能驱除的。因此我们常常被迫采用一种剧烈得多的干扰记忆循环的方式。这些方式中更剧烈的是施行大脑外科手术，而手术后将遗留下永久性的伤害和毁损，并且将永远削弱受害者的能力；因为哺乳动物的中枢神经系统似乎没有任何再生的力量。这方面已经采用的一种主要外科手术是前额叶切除术，这种手术是把前额叶大脑皮质的一部分切除或孤立起来。施行这种手术目前已经很流行，这也许是因为这一方法会使许多病人比较容易看护吧。让我顺便说一句，杀了他们就更容易看护！然而，前额叶切除术对于恶性忧虑似乎有真正的效果，并不是由于它能帮助病人更接近解决他的问题，而是由于伤害或是破坏他保持忧虑的能力（在另一种时行的术语中，把这种保持忧虑的能力叫作良心）。更一般地说，这一方法从各方面限制了循环性记忆——即

把当前已不存在的情况保持在记忆中的那种能力。

各种形式的休克疗法——用电、胰岛素、五甲烯四氮唑，都是一些比较不激烈的治疗方法，也起着极相似的作用。它们不破坏大脑组织，或至少不以破坏大脑组织为目的，但是它们肯定地能破坏记忆力。因为这些方法只涉及循坏性记忆，而且因为在精神失常发病初期主要是循环性记忆受到损伤，而循环性记忆值得保存的价值又不大，所以休克疗法比起脑叶切除术来肯定是值得推荐的。但是它对经久性记忆和个性不是绝对不起有害的作用。按目前的情况来看，它是制止精神上的恶性循环的另一个剧烈的、没有完全了解的、不能完全控制的方法。但是，这点却没有妨碍它在许多病例中仍然作为目前可以采用的最好的方法。

前额叶切除术和休克疗法用来治疗病情比较深的经久性记忆方面的疾病，虽然也可能有些功效，但按其本质说，更适合于治疗带恶癖性质的循环性记忆疾患和恶性焦虑。我们已经说过，当精神失常迁延很久时，经久性记忆也像循环性记忆一样受到严重的扰乱。我们似乎没有任何纯粹药物学的或外科的武器可以有区别地作用于经久性记忆。这正是应该由精神分析和其他精神疗法来插手的地方。无论这种精神分析是正统的弗洛依德意义上的或是经过江格和亚特勒修改过的意义上的，或者它是不严格属于精神分析的精神疗法，这种治疗仍然清楚地根据如下的一个概念：贮藏在心中的信息，位于不同的级上(就其可以接触的难易来分的)，它比直接的没有别的专门方法帮助的内省法所能发掘的要更丰富和多样；它总是被内省法所不能发觉的那种情绪经验强有力地制约着，内省法其所以不能发觉，或者是因为这种经验用成人的语言仍然无法表示出来，或者是因为它被一般是不随意的情绪的特定机构包藏了起来，这些被贮藏的经验的内容以及它们的情调，基本上规定了我们以后的心理活动，有时这种规定可能带有病态的方式。精神分析家的技巧就是用一系列的方法去发掘和解释这些潜伏的记

忆，使病人实事求是地承认它们，并且通过这种承认去纠正它们，纵然不纠正它们的内容，至少也纠正它们所带的情调，从而减轻它们的危害程度。所有这些都完全同本书的观点一致。这也许还能说明，为什么在某些情况下要联合使用休克疗法和精神疗法，即对于神经系统中的反响现象(phenomena of reverberation)把物理疗法或药理疗法和治疗长期性记忆的精神疗法结合起来，因为这种记忆如果不加以干涉，就可能从内部把休克疗法所破坏的恶性循环重新建立起来。

我们已经提到神经系统的信号传导问题。许多著者，例如汤姆普逊[①] 曾经提到过各种形式的有机体的大小都有一个上限，超过这个界限它就不能活动。例如昆虫机体的大小是由呼吸孔通过直接扩散作用把空气送到呼吸组织中去的呼吸管长度决定的。陆上动物不能大到它的腿或其他和地面接触的部分被它自身的重量所压坏；限制一棵树的高度的是把水和矿物从根部输送到叶子，同时把光合作用的产物从叶子输送到根部的那套机构；其他的例子还有。在工程建筑物中，也可以见到同样的现象。限制摩天楼的高度的是这样一种情况：当它超过一定高度的时候，给上面各层准备电梯所需要的面积占据了下层横截面的过大部分。用具有一定弹性的材料修建的最好的吊桥，如果支柱之间的距离超过一定程度，它就会被自身重量所压坍；用一定材料建造的任何建筑物，如果超出一定的跨度，都会被自身重量所压坏。同样，根据一个固定的、不能再扩张的计划建成的一个电话局的大小，也是受到限制的，电话工程师极透彻地研究了这种限制。

在电话通讯网中，用户觉得无法把电话叫通的那一段极短的时间就是重要的限制因素。如果叫通的机会是 99%，就是最苛求

① Thompson, D'Arcy, Growth and Form, Amer. ed, The Macmillan Company, New York 1942。

的人也一定会满意的；90%能叫通，这大概也算够好了，因为办起事情来还算相当便利。75%的接通机会就够麻烦的了，但是还可以勉勉强强地办事情；如果一半电话都叫不通，用户就会要求拆掉电话。这是总的数字。如果电话要通过 n 个分别的接通步骤，各个步骤的接不通的几率是互不相关而且是相等的，那么要使总接通几率为 p，则每个步骤的接通几率必须是 $p^{1/n}$。因此，要在经过五个步骤后得到 75%的接通机会，每个步骤的接通几率必须大约为 95%。要得到 90%的接通率，每一步骤的接通几率必须是 98%。要得到 50%的接通几率，每一步骤的接通率必须是 87%。这里可以看出，当牵涉到的步骤愈多时，如果通话双方的数目超过某一临界值，整个通话的情况就愈容易急速地变坏；相反，只要通话的数目没有达到这个临界值，通话的情况就十分良好。例如，一座包括许多步骤的并且设计出一定接通率的交换站，在通话数目到达临界点以前，没有显著的阻塞情况，但是一到临界点，它就完全失灵，我们也就遭到灾难性的通讯阻塞。

比起所有动物来，人有最发达的神经系统，人的行为可能是依从于那些有效地动作着的神经元链中最长的一种链，因而人很可能是在过度负荷的边缘上有效地完成着复杂的行为，一旦越过这个边缘，他就会完全崩溃。过度负荷的产生有下列几种形式：或者由于必须传送的信号量过多，由于传导信号的径路在物理上被减少；或者由于不需要的信号系统（例如增加到病理性忧虑程度的循环性记忆）过多地占用了这些通道。在所有这些情况下，都会——突然地——到达这样一点：没有给正常的信号留出足够的传导通道，因而就会出现例如像疯狂那样的突然的精神错乱。

这里首先受影响的是那些最长的神经元链的机能和活动。有证据说明，这些机能和活动正是那些在我们通常的评价标准中被认为是最高级的过程。证据如下：大家知道，在生理限界以内的体温上升能够使大多数（即使不是全部）的神经元的活动更为顺利。

在较高级的(其次序大致按照我们通常对“高级”的程度的评价)过程中,这种影响也较大。因为一个神经元是同别的神经元连成一串的,在单一的神经元-突触系统中,过程的任何促进作用都应该具有累积的性质。因此,某一神经活动过程由于体温上升而得到的总活动能力,可以粗略地作为有关的神经元链的长度的量度。

我们由此理解到,人脑所使用的神经元链比其他动物要长一些,这就说明为什么人类的精神错乱肯定地最为显著,并且可能也是最常见的。还有一个更特殊的方法来考虑与此极类似的问题。让我们考虑两个从几何学意义来说相似的脑子,它们的灰质和白质的重量的比例相同,但有不同的尺寸,其比例是 $A:B$。假设两个脑子中灰质的细胞体体积和白质的神经纤维截面都是同样大小。于是,那两个脑子的细胞数目的比例是 $A^3:B^3$,长距离连结器数目的比例是 $A^2:B^2$。这就是说,当它们的细胞中动作密度(density of activity)相同时,大的脑子神经纤维中的动作密度比小的脑子的神经纤维中的动作密度要大,其比例是 $A:B$。

如果我们拿人脑同下等哺乳动物的脑去比较,我们就发现人脑的折迭较多。两者灰质的相对厚度差不多相等,但人脑的灰质一直分布到复杂的脑回和脑沟里。这种分布使灰质的数量增多而使白质的数量减少。在一个脑回中,白质的减少主要是纤维长度的缩短,而不是纤维数目的减少,因为一个脑回的对折比它们假如在一块面积大小相同没有折叠的平滑表面上互相间要靠近得多。另一方面,各个脑回之间的联接线所必须经过的距离则由于脑的折迭而多少有所增加。因此,人类脑子的近距离联接线颇为有效,而远距离干线则并不完善。这就是说,在发生信号阻塞时,最先受到影响的是联系相互远隔的大脑各个部分的那些过程;也就是说,在精神错乱时,那些牵涉到几个中枢,牵涉到一系列运动过程,牵涉到许多联合区域的过程是最不稳定的。这些过程正是我们通常叫作较高级的过程,因此我们那些似乎有经验支持的猜测得到了再一

次的证实：在精神错乱时，较高级的过程最先恶化。

还有一些迹象，说明脑中的长距离径路一般有穿出大脑外侧并横切低位中枢的趋势。这是可以用割断那些担任远距离联结的大脑白质的一部分弯曲而只发生极轻微损害这一事实来证明的。看起来，这些表面的联结是如此的不妥善，它们之中只有一小部分才是实际需要的。

关于这点，考虑一下惯用左手或右手以及半球优势的现象是很有趣的。在下等哺乳动物中，似乎也有习惯用右侧肢体或左侧肢体的现象，虽然比起人来，这些现象很不显著，这部分地也许是因为动物动作中要求的组织性和灵巧性较低。但是，即使在较低级的灵长类中，右侧和左侧肌肉熟练程度的差异程度比起人类来，也要来得小。

大家知道，一个正常的人惯用右手一般是由于他惯用左脑；而少数人的惯用左手则是由于他惯用右脑。这就是说，大脑功能不是平均地分布在两个脑半球上的，其中一个脑半球是优势脑半球，它执行着绝大部分的比较高级的功能。不错，许多本质上是两侧性的功能——例如关于视野的——在其所属的各个半球中都出现，虽然并非所有两侧性功能都是如此。但是，大部分“较高级”的皮质区域都限制在优势半球上。例如，在成年人身上，因为劣势半球上广泛损伤而发生的影响比起优势半球上类似损伤所引起的影响要小得多。巴士特(Pasteur)在少年时期患过右侧脑溢血，使他得了中度的一侧麻痹，即半身不遂。在他死后剖验他的脑子时，才发现他的右脑损害是如此广泛，以致有人说，在他患了脑溢血后，“他只有半个脑子”。在他的颅顶和颞颥区肯定有广泛的损伤。然而他在受到这种伤害以后，仍然完成了几件最好的研究工作。在一个惯用右手的成年人身上，左脑的同样损伤几乎一定会致命，而且一定会使病人智力上和神经上都成为残废，使他变得像动物一般。

据说，这种情况如果发生在初生时期就要好得多。在出生后头

6个月中，优势半球受到广泛的损伤会迫使正常的劣势半球去代替它；因此，比起那些在较大年龄时受到脑部损伤的病人来，这种病人看来更接近于正常。这是同出生后头几周中神经系统所表现的巨大可变性和以后发展的巨大固定性相符合的。在幼童身上，即使没有这种严重的损伤，一侧惯用性可能也是富于可变性的。然而，在儿童入学以前很久，这种天然的一侧惯用性和大脑某半球占优势的情况已经被终生确定了。常常有人认为，惯用左手在社会上会遇到重大的不便。这话有些道理，因为大多数工具、课堂桌子、运动设备主要都是为惯用右手的人做的。而且，在过去，有人由于迷信而厌恶使用左手的习惯，正如他们厌恶那些稍稍背离一般人的常态的东西，例如胎记和红发。由于各式各样的动机，许多人想通过教育去变更自己孩子的惯用左手的外表习惯，而且甚至得到成功，虽然他们不能变更某一大脑半球占优势的生理基础。以后他们才发现这些优势半球变更的孩子很多都患口吃，并且在言语、阅读、书写方面都发生障碍，甚至严重地影响他们的前途并丧失正常生活的希望。

现在我们至少看到这个现象的一个可能的解释。在训练劣势的手的时候，劣势半球上像支配写字这类灵巧动作的区域也受到一些训练。然而，因为这些动作的实现是同阅读、讲话和其他动作具有最密切的联系的，而这些动作却都同优势半球不可分割地连结在一起，因此，在这一过程中，神经元链必须从一个半球穿到另一个半球，然后又回来。而在一个稍微复杂的过程中，它们就必须一次一次地来回穿行着。但是，像人脑那样大的脑子中，脑半球之间的直接连结器——大脑连合(cerebral commissures)——的数目中如此之少，以至它们很少起作用。因而大脑半球之间的连络必须绕着远路而通过脑干，我们对于脑干还了解得很不完全，但它肯定是长的，不粗的，可以被阻塞的。其结果，同言语和书写有关的那些过程极易发生信号阻塞现象，而口吃的发生也就最自然不过的

了。

这就是说，就有效地利用那些从解剖学上看似乎存在的各种机能这一点来说，人的脑子可能已经太大了。在猫身上，优势半球的破坏比起人身上优势半球的破坏来似乎产生的害处较少，而劣势半球的破坏也许对它的害处更大。无论如何，猫的两个脑半球上的机能分配大体上是相同的。在人身上，由于脑的尺寸和复杂性增加而得到一些益处，部分地被大脑中在同一个时候只有很小一部分能被使用这一限制所抵消。这样来思索一下是很有趣的：我们可能面临着自然界的限制之一，我们的器官从高度专门化到效能衰退，最后到物种消灭。人类的脑子可能是沿着这条毁灭性的专门化道路前进，正像最后的恐龙的巨大鼻角一样。

第八章

信息、语言和社会

一个组织中的各个要素本身也是小的组织;这样一个关于组织的概念既不是生疏的,也不是新颖的。古希腊关系松弛的联邦、神圣罗马帝国及其同时代的类似组成的封建国家、瑞士联邦、尼得兰联邦、美利坚合众国以及中南美的许多合众国、苏维埃社会主义共和国联盟,这些都是政治领域内类似教阶(hierarchies)关系的组织系统的例子。霍布士的利维坦(Leviathan),即是由非完美无缺的人组成的"世人的国家",它说明同样一种思想,只是组织程度上较低一些;而莱布尼茨的思想,认为生命机体其实是充满了其他生命机体(例如血球)的综合体,也是在同一方向上更前进了一步。这种思想实际上不过是细胞说的哲学先驱。细胞说认为大多数普通大小的动植物,以及所有的大动物、大植物都是由许多单位,即细胞构成的,这些细胞都具有独立的生命机体的许多属性,即使不是所有的属性。多细胞机体本身可以成为建造较高级机体的砖块,例如僧帽水母就是由特殊分化了的水螅组成的一个复合体,其中有些个体已经为了要担任营养摄取、个体保持、运动、排泄、生殖和支撑整个群体等任务而发生各种变化。

严格地说,这种生理上相连结的群体所提出的组织问题,从哲学上看并不比低级阶段的个体所提出的组织问题更为深刻。在人和其他社会动物身上——例如一群狒狒或一群牛,群栖的海狸,蜂群,一窝黄蜂或一窝蚂蚁——情况就大不相同了。团体生活所表现

的整体化程度接近于单一个体的行动所表现的水平；但个体大概有固定的神经系统，神经系统的各元件之间都有永久性位置关系和永久性联系；而团体却是由许多时空关系可以不断变动，没有永久的、不可破的肉体联结的个体所组成的。一窝蜂的全部神经组织就是一只一只蜜蜂的神经组织：蜂群是怎样一致行动的呢？而且这种一致行动又怎么能富于变化、富于适应性和组织性呢？显然，秘密在于蜂群的成员之间有相互的通讯。

这种相互通讯的复杂性和内容可以大有不同。人的相互通讯包括全部复杂的语言和文献以及许多其他东西。但对蚂蚁说，相互通讯大概只是少数几种嗅觉。如果说一个蚂蚁能够把一只只的蚂蚁都分辨清楚，这大概是不可能的。蚂蚁肯定能够分辨自己窝里的蚂蚁和别的窝里的蚂蚁，它可以同这只蚂蚁合作，把那只蚂蚁杀死。除了这类少数的外部反应以外，蚂蚁的智慧几乎同它被角质包裹起来的身子一样，是定型的、僵化的。这就是为什么我们事先可以料到，一个动物它的生长期乃至学习期同它成长后的活动期会截然分开的原因。这类动物的唯一通讯方法就像体内的荷尔蒙通讯系统一样，是一般性和扩散性的。的确，作为一种化学感觉的嗅觉一般都没有方向性，它同体内的荷尔蒙作用没有什么两样。

这里我要插上几句话。哺乳动物中的麝香、麝猫香、海狸香等等具有性吸引力的物质可以认为是社会性的、外部通讯用的一种外部荷尔蒙，特别对于孤独生活的动物，这些物质能够在适当时期把异性吸引在一起，因而是繁殖种族所不可缺少的东西。我并不是说这些物质一旦到达嗅觉器官以后，起的是荷尔蒙作用而不是神经性作用。如果说它们少到仅仅能够觉察的分量还会起纯粹的荷尔蒙作用，这是难以理解的。但是从另一方面说，我们对荷尔蒙作用知道得太少了，因此不能否认极少量的这些物质也有发挥荷尔蒙作用的可能性。而且，麝香素和麝猫香素中由碳原子构成的长面屈曲的环无须大大改组就能构成性荷尔蒙的连锁环，以及某些维

他命和某些癌元所特有的连锁环。我不想在这点上发表意见，让大家来作这个有趣的猜测吧！

蚂蚁闻到各种气味后所采取的行动，看来是极度标准化的；而一个单纯刺激（例如传递信息的气味）的价值不但取决于刺激本身所传递的信息，还取决于刺激的发送者和接受者的整个神经机构。假如我在森林中遇见一个聪明的野蛮人，他不会说我的言语，而我也不会说他的言语。即使我们中间没有共同的、事先约定的语言符号，我仍然能够从他那里知道许多东西。我只要留心他显出激动或高兴的表情的那些时刻。然后我向四面八方观察，最好特别注意他的目光所投射的方向，把我看到的或听到的东西牢牢记住。不久我就会找出他所关心的东西；这不是由于他用语言把那些东西告诉了我，而是因为我自己观察到那些东西。换句话说，一个没有固有内容的信号，由于他在那个时候注意到它而在他心中产生意义，也可以因为我在那个时候也注意到那个信号而在我心中产生意义。他能发现我对某些事物特别注意的那个瞬间，这种发现能力本身就是语言，它就像我们两人能够得到的印象范围那样具有多种多样的可能性。因此，社会动物在产生语言以前，也许早就有一种活泼的、能懂的、富于变化的通讯方式。

不管一个种族用什么通讯方式，这个种族所使用的信息量总是可以测定的，并且可以把对种族有用的信息量同对个人有用的信息量区别开来。当然，对个人有用的信息并不就是对种族有用的信息，除非它能改变个人对于其他人的行为，而且这种行为还可能没有种族的意义，除非别人能把这个行为同其他的行为形式加以区别。因此，要决定某一种信息是属于全族的还是纯粹对个人有用的，就要看个人所采取的行动方式是否被种族中其他成员看作特定的行动方式，以及是否能逐一影响这些成员的行动等等。

我提到种族。这个名词对于大多数社会团体的信息的作用范围来说，确实过于广泛。本来，团体的界限只相当于团体信息能够

有效地传递到的那个界限。我们可以给团体定义一种测度，只要比较一下从外界给予这个团体的判断数目和团体内部作出的判断数目就可以做到这点。我们可以借此来测定这个团体的自治程度。一个团体有效大小的测度，就是这个团体达到一定自治程度所必需的大小。

一个团体比起它的各成员来可以有更多或更少的集体信息。暂时集合的一群非社会性动物，即使它的个体成员有很多信息，也只有很少的集体信息。这是因为一个成员的行为很少受到别的成员的注意。别的成员很少因此动作起来再继续传布影响。另一方面，在人类组织中却完全有可能比它的任何一个细胞有多得多的信息。因此，在种族、部族或团体所有的信息量与个人所有的信息量之间，没有哪一类一定多，哪一类一定少的关系。

同个人所有的信息一样，种族在某一时期使用的信息也不是无须经过特殊努力就能得到的。大家知道，图书馆由于自身藏书过多而有难以活动的趋势；科学也因为发展到如此的专业化程度，以致专家们一越出自身精细的专业便常常毫无所知。布希博士建议利用机械的方法去寻找浩如烟海的文献资料。这些机械方法可能有用；但是它们也是受到限制的，因为除非某专家已经确认某一本新书应该属于那一部门，否则我们就不可能在分类的时候把这本书分到哪个部门里去。如果两门学科的方法和内容相同，但分属于两个远隔的学术领域，那么分类工作就几乎需要像莱布尼茨那样兴趣广泛的人来担任。

联系到团体信息的有效量问题，必须指出：社会政治组织中，最令人惊异的一个事实就是它极度缺乏有效的内稳定过程。有一种信仰在许多国家都流行而在美国更几乎成为国教。这个信仰说，自由竞争本身就是一种内稳定过程：在一个自由市场里，交易者的个人自私性，即每人尽可能地设法卖贵买贱，最终将使价格趋于稳定，并且有利于最大多数人的利益。这是和一种极乐观的看法有关

的，这种看法就是：当某个企业家在设法增进自己的利益时，在某种形态上他多少也是公众的一个恩人，因此他理应得到社会给予他的巨额报酬。不幸的是，事实驳斥了这种简单的理论。市场是赌局；实际上，它就像是垄断资本的家族赌场。因此，它严格地服从冯·诺意曼和摩根斯特恩所发展的一般博奕理论。这个理论的基础是假定每个参加博奕的人在每一阶段上根据他当时得到的信息，使用一种完全理智的策略来进行博奕，这种策略保证他最终能得到期望中的最大可能报酬。因此，市场上的赌博是由完全理智的、完全无情的赌手来进行的。即使在只有两个赌手的情况下，这一理论也很复杂，虽然这个理论常常使博奕进行的路线是死板的。然而，在许多有三个参加者的场合，以及在极大多数有很多参加者的场合，博奕的结局就非常难于确定也非常不稳定。各个参加者由于本身的贪欲不得不结起同盟；但这种同盟一般并不能使他们采取统一的、决定性的行动，而是常常以互相出卖、背叛和欺诈告终，这种情况在较高级的商业界生活中或是极为类似的政治、外交和战争生活中太常见了。这种情形长此下去，即使最聪明的最无原则的唯利是图的人也会倾家荡产；如果这些唯利是图的人对此生厌，同意和平共处，最大的报酬就会落到那个等待时机以便撕毁协定、出卖同伴的人身上。这里没有任何的内稳定作用。大家都被卷入繁荣和衰落的商业周期中，卷入接二连三的独裁制和革命中，卷入那种人人受到损失的战争中，这是当前时代的一个真正特征。

当然，冯·诺意曼把博奕者看作完全理智的、完全无情的人，这是一种抽象，也是对事实的歪曲。一大群十足聪明十足无原则的人互相勾心斗角，这是十分稀见的。当骗子聚集在一起的时候，一定也会有傻瓜。当傻瓜聚集得相当多的时候，他们就给骗子提供更为有利的剥削对象。傻瓜的心理已经成为很值得骗子去认真注意的题目。傻瓜并不是按照冯·诺意曼的博奕者的行为方式去寻求自己的最终利益，他的行动是可以预测的，就像迷宫中的老鼠一

般。这一种说谎方法——即不说真话——会使傻瓜去购买某一种牌子的香烟；那一种说谎方法可以引诱他去投某个候选人——任何候选人——的票，或者去参加政治迫害，如某一政党所希望的。把宗教、色情文学和伪科学恰当地配合起来就能推广某一画报的销路。某种甜言蜜语、贿赂和恐吓的混合物会引诱一个年轻的科学家去研究导弹或原子弹。为了把这些事情办成，我们有一套机构去调查无线电听众的意见，去举行选举测验，去进行舆论抽查以及其他的心理研究；而且总会有统计学家、社会科学家、经济学家把自己的一套本领出卖给这些事业。

对我们说还算是幸运的，因为这些说谎的商人和这些使得容易受骗的人们遭殃的剥削者的伎俩还没有达到炉火纯青的境界，还没有使他们能够为所欲为。这是因为没有一个人是十足的傻瓜或是十足的骗子。一个普通人同他直接关心的东西打交道的时候总是有些理智的，对于公共利益或是自己亲眼见到的别人的苦难总是有些利他精神的。在一个已经存在很久的因而具有划一的理智和行为水平的小小乡村社会里，人们对不幸者的关怀，对路政和其他公共事业管理，对于一再地违反社会规则的人的容忍态度方面，都有一个很可尊敬的标准。这些人终究是存在的，别的人总得继续同他们一起生活。另一方面，在这样的社会中，对那些老想高出他人一头的人是不合适的。有种种方法使他感到社会舆论的重压。经过一个时期，他会感到这种舆论是如此的无所不在，如此的不可避免，如此的限制人和压制人，以致他为了自卫起见而不得不离开这个社会。

因此，小而紧密地结合着的社会有极大程度的内稳定性，不管这种社会是文明国家中的具有高度文化的社会或是原始野蛮人的村落，都是一样。纵然许多野蛮人的习俗在我们看来是奇怪的，甚至是令人厌恶的，但它们一般都有极明确的内稳定性价值，人类学者的一部分任务正是要去解释这点。只有在大的社会里，那些大亨

们才可以靠财富使自己免于饥饿，靠隐居和埋名改姓逃避社会舆论，靠诽谤法和拥有各种通讯工具来抵制私人批评；只有在这样的社会里，残忍才能到达它的最高峰。对于社会所有这些反内稳定的因素来说，通讯工具的控制是最有效也是最重要的。

本书的教训之一就是，任何组织所以能够保持自身的内稳定性，是由于它具有取得、使用、保持和传递信息的方法。在一个过于大的社会里，社会成员无法直接相互接触。因此，出版物(包括书籍和报纸)、无线电、电话网、电报、邮递、剧院、电影院、学校、教堂就都成了取得、使用、保持和传递信息的工具。它们除了具有作为通讯方法这个内在重要性以外，还有其他的次要作用。报纸是广告的工具，也是给报纸老板赚钱的工具；电影和无线电也是一样。学校和教堂不仅是学者和圣人的庇护所，还是"大教育家"和主教的家。一本不给出版家赚钱的书大概是不会付印的，而且肯定是不会再版的。

我国的社会是以买卖为基础的社会，这是大家公认的，在这里，无论自然资源或是人力资源都被认为是具有足够魄力去剥削这些资源的第一个实业家的绝对财产，通讯工具的次要方面愈来愈侵占它的主要方面。由于通讯本身日益精巧并且需要更多费用，这就更加助长了上述的情况。乡村报纸虽然可以使用自己的记者去采访村子里的消息，但是它要出钱去购买国内新闻，去购买由报业辛迪加发行的特写和"铅板"式的千篇一律的政论。无线电台依靠广告得到收入，谁给钱谁就来点曲子，到处都是一样。大的新闻采访部花钱太多了，一个中等资本的出版商是供给不起的。书籍出版家集中出版那些可能一下子被读书俱乐部全部包买下来的书籍。大学校长和主教，即使他们没有取得个人权力的野心，也得维持一个非常花钱的机构，他们只能到有钱的地方去找钱。

因此，从各方面看，通讯工具都受到重重约束：赚钱少的被代之以赚钱更多的；而这些工具都掌握在极少数的富人阶级手里，因

而自然是表达这个阶级的意见的；因为通讯工具是取得政治和个人权力的一种主要手段，它们首先吸引来的是那些对这种权力抱有野心的人。什么通讯系统比所有别的系统应该对社会内稳定性更有贡献，它就直接被掌握在那些最醉心于争权夺利的人的手中，而我们已经知道，这种争夺是社会中主要的反内稳定性的因素。因此，丝毫不必奇怪，遭受这种破坏势力影响较大的社会比起较小的社会来，可以共同使用的信息反而少得多。至于构成所有社会的个人的内部通信组织（神经系），那就比社会好多了。国家就像狼群一样（虽然我们希望不至于如此），它比它的大多数成员更为愚蠢。

上述的意见同大企业领导人、大实验室负责人等等所鼓吹的那种见解相反，他们认为，因为社会比个人大，所以比个人有理智。主张这种见解的人一部分只是由于像小孩子一样的喜欢大、喜欢铺张的心情，一部分是由于有人以为大的组织可能好一些。但是，其中不少人不过是着眼在寻找获利的机会和满足贪欲。

另外有一群人对现代社会的无政府状态不满，他们有一种总以为能想出办法的乐观心情，这使他们过高地估计了社会中可能有的内稳定因素。纵然我们对这些人会表示同情，我们了解他们在情绪上处在进退维谷的境地，但是我们不能给这种如意算盘以太高的估价。这种想法就像老鼠想给猫挂上铃铛一般。无疑的，对于我们这些老鼠说，给这个世界上的掠夺性的猫都挂上铃铛是极可喜的，但是谁去挂呢？谁给我们保证无情的权力不会回到那些最贪图权力的人的手中去呢？

我提起这一点，因为我有些朋友非常希望这本书里可能包含的新思想会发生某种社会效用，我认为这是虚假的希望。他们确信人们对物质环境的控制已远远超出人们对社会环境的控制和理解。因此，他们认为当前的主要任务是把自然科学中的方法推广到人类学、社会学、经济学方面去，希望能在社会领域里取得同样程度的胜利。他们起初相信这样做是必要的，进而相信这样做是可能

的。在这点上，我认为他们表示了过分的乐观，并且误解了一切科学成就的性质。

一门精密科学的所有巨大成功都是在这样的一些领域里得到的，在那里，可以把观察者与现象高度地分离开来。我们在天文学中见到，这种分离是由于某些现象比起人来太巨大了，因此即使人费尽力气，也不能对天体世界发生丝毫影响，更不要说光是看它一眼了。另一方面，在现代原子物理学，即关于无法形容的微小东西的科学中，我们做的任何事情的确对许多个别粒子都起影响，而且这种影响对各个粒子来说是巨大的。但是，无论从空间上或时间上说，我们都不是生活在像粒子那样的标度中。一个观察者按照其生存的标度来看认为可能有巨大意义的事件，在我们看起来只是由大量粒子合作产生的平均集体效应——不错，有些例外，例如在威尔逊云室的实验中。就这些效应来说，其时间间隔对个别粒子及其运动说来是很大的，因此我的统计理论有符合要求的足够基础。总而言之，要去影响星辰的运行，我们太渺小了；要去观察分子、原子和电子，我们又太大了，因而只能观察它们的集体效应。在这两种极端情况下，我们同我们所研究的现象进行相当松弛的耦合，我们只是从这种耦合中得出集体性的总的解释，虽然这种耦合对我们说来还不够松弛到可以完全忽略的程度。

在社会科学中，极难使被观察的现象和观察者之间的耦合减到最低限度。相反，观察者能够对他所关心的现象施展巨大影响。虽然我十分尊敬我的那些人类学家朋友的智慧、本领和诚实目的，但是我并不认为他们所考查的任何社会以后将永远不变。许多教会人士在给原始语言写成文字的过程中，把语言误解成永久的法律。一个民族的社会习惯可以仅仅因为对它进行调查工作而消失或发生变化。在另一种意义上，这就是常说的“翻译者是叛逆者”的意思。

另一方面，社会科学家没有从永恒的、与时间地点无关的角度

来冷静观察他的科目的那种便利。也许有一种人类微生物的群众社会学，这门科学观察人类就像观察瓶子里的果蝇一般；但这不是我们这些人类微生物所特别关心的社会学。我们对人类在永恒相之下(sub specie aeternitatis)的兴亡苦乐很难有动于衷。人类学家所报告的习俗，是那些寿命同他自己一般长的人们的习俗(这些习俗是和那些人的生活、教育、事业和死亡牵连着的)。经济学家最关心的是预测几十年以内产生的或是至少对一个在他事业的各个阶段中起影响的那种商业周期。现在很少有政治哲学家会把他的研究局限在柏拉图的理念世界中。

换句话说，我们在社会科学中不得不考虑一些短期的统计游程，我们也没有把握断定我们见到的大部分东西是不是我们自己创造的赝品。对股票市场的研究很可能把股票市场弄糟。我们不能成为好的研究者，因为我们同我们的研究对象太一鼻孔出气了。总之，不管我们在社会科学中的研究是统计性的或是动力学性质的——这种研究一定具有两可的性质，它们可信的程度只能够到达头几位数字，一句话，它们不能给我们提供大量的可以验证的、有意义的信息，如同我们在自然科学中可以希望得到的那种信息一样。我们不能忽视这些信息，但我们对这些信息的可靠性不要抱着过大的希望。不管我们愿意与否，有许多东西我们只好让熟练的历史学家用不"科学"的、叙述的方法去进行研究。

附　注

有一个问题应该包括在这章之内，虽然它并不是议论的重点。这个问题就是能不能制造一部下象棋的机器，对于机器和心灵来说这种能力是否具有本质的差别。我们不必提出这样的问题：能不能制造一部能下冯•诺意曼所说的最优棋局的机器。就是最好的

人脑也无法做到这一点。但是另一方面，无疑地可以制造那样一种机器，不管下得好下得坏，它总是按着规则来下棋。制造这种机器根本上不比制造铁路信号塔上的连动信号系统更为困难。我们现在要制造的是介乎两者之间的东西：我们要制造的机器将是人的有趣的对手，它下的棋有一定的水平，同人类棋手的水平相仿佛。

我认为可以制造一部比较粗糙但决不平凡的机器来实现这一目的。机器在下棋时必须认真比较——如果可能，要极迅速——自己在两三步内所有可能的走法和对方在两三步内全部可能的还击。每一种走法的结果都应当给以一定的评价。例如，一种走法能将死对方，得最高的评价，被对方将死，得最低评价；失子、得子、将军以及其他可以见到的情况都应该给一定评价，而且这种评价要同优秀棋手所给的评价相差不太远。每种走法的第一步，可以按照冯·诺意曼的理论给予评价。当只考虑到机器走一步和对方走一步的所有走法时，机器对每一种走法的评价，应该根据对手在机器走了那一步之后，作出各种可能的还击所造成的不同局势中，使机器获得最小评价的那个局势来评价①。当考虑到机器走两步和对手走两步的所有走法时，机器对每一种走法的第一步的评价，应该根据对手所有可能的第一次回击中，使机器获得最小评价的那个局势来评价，而对手的所有可能的第一次回击，却是根据机器走第二步时的最高评价来确定的，这个对机器的最高评价指的是假定当对方只走一步，机器跟着也只走一步时，机器可能获得的最高评价②。这一方法也可以用于双方走二步或更多步数的情况。这样，机器就从 n 步中挑选出具有最高评价的那一种走法，n 的值是由机器设计者决定的。因此，它的下法是一定的。

---

① 使机器获得最小评价的局势就是对机器最不利的局势。——汉译者注。

② 对手在作第一次回击时，他会考虑到机器跟着还要走一步，而且可能会选择对机器最有利的一步走。——汉译者注。

这样的机器不但会按规则下棋，而且还不至于下得可笑地坏。在每一阶段上，如果两三步内就可以把对方将死，机器就会这样做；如果可以避免两三步内被对方将死，机器也会设法避免。它大概会战败一个愚蠢而粗心的棋手，但是同一个技巧很高的仔细的棋手去下棋，它一定要输。换句话说，它可能下得同人类中绝大多数棋手一样好。这并不是说它会灵巧得同买厄塞耳(Maelzel)的谎骗机器一样，但是不管怎样，它可以得到很大的成就。

第二部分

补充的几章

1961

第 九 章

关于学习和自生殖机

学习的能力和生殖自己的能力是我们公认的作为生命系统的特征的两种现象。这些能力的性质表面看来虽然不同，相互之间却有密切关系。一个动物进行学习，那它就是一个能够被它过去的环境转变成另一个不同的动物的动物，因而它在自己个体生活的时间内对周围环境的影响是可调节的。一个动物进行繁殖，就是它能够产生出另一些虽然不是和它完全相同，至少是近似相同的动物，所谓近似相同，就是在时间的进程中不是不能发生任何改变。如果这种改变本身是能遗传的，我们就有了供自然选择发生作用的原始材料。如果行为方式有遗传不变性，那末在各种有了变异的行为类型中，那些被传播开的行为方式，总可以发现它们对于种族的继续生存有某些好处，因而能使自己稳定下来，另外一些对种族的继续生存有害的行为方式也就会被消灭。与个体的个体发育的学习比较，上述结果就是某种种族的或系统发育的学习。个体发育和系统发育的学习都是动物根据周围环境来调节自己的方式。

个体发育和系统发育的学习，特别是后者，不只是适用于所有的动物，而且适用于植物，适用于所有从任何意义上看来是有生命的有机物。当然，这两种形式的学习对于不同种类的有生命体的重要程度是有很大不同的。对于人，在一定范围内对于其他哺乳动物，个体发育的学习和个体适应性被提到最高的重要地位。的确可以这样说：人的系统发育学习的大部分都是用来建立良好的个体

发育学习的可能性。

朱利安·赫胥黎(Julian Huxley)在他的论鸟的智力的主要论文[①]中曾经指出，鸟的个体发育的学习能力很小。昆虫的情况与鸟有某些类似。在个体对飞行的迫切需要和由此引起的可以用来作个体发育学习的神经系统被这种需要所事先占据，这一事实，可能是鸟和昆虫个体发育的学习能力小的原因。鸟的飞行、求爱、抚养小鸟、筑巢等复杂行为，都是在很早的时候，未经母鸟什么教育的情况下，就能正确的做到的。

本书也应有一章对下面两个彼此有关的问题加以适当讨论。人造的机器能学习吗？它们能生殖出自己吗？在这一章中，我将试着证明，它们确实能够学习和生殖自己，我将对这两种活动所需的技术加以说明。

这两个过程中，学习比较简单些。因此，关于学习过程的技术的发展也走在前面一些。我要在这里特别谈到博奕机的学习，这种博奕机能使自己根据经验改进自己行为的战略和战术。

已经有了一种现存的博奕理论——冯·诺依曼理论[②]这个理论涉及的与其说是一种从博奕的开始看来为最好的对策，不如说是一种从博奕的结局看来为最好的对策。在博奕的最后一着中，如果有可能，一个博奕参加者总是力求走能获胜的一着，其次至少要走能得平局的一着。他的对方，在走他这一着的前面一着时，总是力求要取一种着法，使得他不能走这获胜或得平局的一着。如果他这时能走出获胜的一着，他就一定会这样走下去，这一着就不会是

① Huxley, J., Evolution: *The Moderon Synthesis*, Harper Bros., New York, 1943.

② Von Neumann. I., and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton, N. I., 1944(中译本，科学出版社将出版)。

博奕的倒数第二着，而是博奕的最后一着了。另一方在走这一着的再前面一着时，他将打算采取这样一种走法，使得对方即使有最好的智谋，也不能阻止他走最后取胜的一着，如此依次倒着推下去，都是如此。

像井字游戏(ticktacktoe)这类整个战略都是已知的博奕，就可以从最开始就按照这种对策来走。当这种对策行得通时，很明显它是进行博奕的最好的方法。但是，在像象棋这样的许多博奕中，我们的知识不够，不允许我们对这类博奕形成一个完整的战略，这样我们只能对完整的战略加以近似。冯·诺依曼类型的近似理论假定博奕参加者的对方是完全聪明的那种博奕能手，这种理论令博奕参加者以极度的谨慎行动。

对待博奕的这种态度并不经常都是恰当的。在作为博奕的一种的战争中，这种态度一般将造成一行动上的优柔寡断，其结果，经常总是不会比失败好多少。让我举出两个历史上的例子。当拿破仑在意大利和奥地利人打仗时，他之所以有威力，部分因为他知道奥地利式的军事思想是气魄狭小和因循守旧的，因此他十分正确的假定他们不可能利用法国革命的士兵所发展出来的新的“果断逼人”(decision-compelling)的战争方法。当纳尔逊① 与大陆欧洲的联合舰队作战时，他就是靠一种机器军舰来取胜的，这种机器军舰使他掌握数年的制海权而且由此发展出各种思想方法，他清楚地知道这些方法是他的敌人所不能利用的。如果他不充分利用这种有利因素，而是按照他面对的敌人也有同等的海军经验的假定那样来小心地行动，在长期作战之后他也可以获胜，但是却不可能像他那样快地，那样彻底地获胜，他就不可能去组织那严密的舰队封锁，使得拿破仑最后失败。在这两个例子中，支配的因素是指

① 纳尔逊(Haratio Nelson，1758—1805)，英国名将，Trafalgar海战的胜利者。——译者注。

挥官和他的对方从他们行动的过去中统计地表现出来的已有作战记录，而不是那种要和一个全能的敌人打一场全能的仗的意图。在这些情况下，对冯·诺意曼博奕论方法的任何直接应用都将被证明是无益的。

对于同一个问题，一些关于棋术理论的书却不是按冯·诺意曼的观点来写的。这些棋书是棋手和另一些质量很高、知识很广的棋手下棋的实际经验的原则总结；他们对每一个棋子的损失，对移子(mobility)，控子(command)、加子(development)和其他可以随博奕进程而起变化的因素都给予某种估价或权重。

要制造一部能下一种棋的机器并不是很困难的。非常简单的计算机就能轻易使机器遵守博奕的规则，只走符合规则的步着，改装一部数字机来达到这个目的确实不困难。

现在来讨论符合博奕规则的对策问题。对于各个子、对于控子、移子等等的估价，本质上都能够化为数值项，这样做了之后，棋书上的原理就可以用来决定每一局棋的最好着法。这样的机器已经制造出来，它们可以满有把握地和业余棋手比赛，虽然目前还不能达到名手的才干。

设想一下你和这样一部机器下棋时的处境。为了使双方的地位公平，让我们假定你是在进行通信下棋，但是并不知道和你通信下棋的是一部机器，因此，也没有由于知道对方是机器而可能引起的各种偏见。自然，像通常下棋的情况一样，你会去判断你的对方的棋性。你会发现当在棋盘上两次出现同一棋势时，你的对方的动作每次都一样，你会发现他的棋性是很死的。如果你有什么花招要耍，在相同的条件下，你总可以这样去耍。因此，对于一个专家来说，要找出他的机器对方的棋路而且每次都把他打败，是并不太难的。

但是，有一些机器并不能这样容易地被击败。让我们假定在每下了几盘棋后，机器都要求暂停而利用它的设备去作其它目的的

工作。在暂停的时间内，它不去和对方下棋，而是对所有记录在它的记忆装置上的前面几局棋的情况进行审查，以便确定对各个子，对控子和移子等等的不同估值给予什么权重，才能最有利于取胜。这样，机器就不但从自己的失败中学习而且从对方的胜利中学习。现在它用新的一套权重值代替老的一套并作为一部新的更好的机器来继续进行博奕。这样的机器就不再是一部死棋性的机器，一次可以取胜它的花招，最后总归要失效。不但如此，它还可以在时间的进程中吸收对方的某些对策。

在象棋中，所有这些做起来是非常困难的，事实上这种技术还没有充分发展到能使一部机器下大象棋的地步。西洋象棋(checker)的问题比较简单一些。各个子的数值的同一性，大大减少了必须考虑的组合数。而且，部分地由于这种同一性，西洋象棋比象棋可分成的阶段数要少得多。就是在西洋象棋中，结束博奕的主要问题也不是得子，而是与敌方建立一种关系，使得子成为可能。同样，对象棋步着的估值，必须使它与不同的阶段无关。不但是博奕的最后阶段在走法上与中间阶段有所不同(这一点当然是最重要的)，而且开始阶段较之中间阶段在走法上也有所不同，开始阶段的走法要更多地考虑到如何把子摆在一个便于进攻和防御的地位。因此，我们决不能满足于对整个博奕的各种权重因子给予均一的评价，必须把学习的过程分成几个不同的阶段。只有这样我们才有希望制造出一部能下大象棋(master chess)的机器。

一级程序设计(在某些情况下它是线性的)与二级程序设计(它在决定如何实现一级程序中要求实现的对策时，利用很长一段过去的数据)相结合的概念，本书早已联系着预测问题讨论过。预测器靠着一种线性运算用飞机飞行的刚刚过去的状态去预测飞机未来的飞行状态；但是确定一个正确的线性运算的问题是一个统计问题，过去长期飞行的状态和许多次同类飞行的过去状态是解决这个问题的统计上的根据。

为了确定从短期过去看来要采取的策略，需要有对长期过去的统计研究，这种统计研究是显著地非线性的。事实上，在应用维纳-霍普夫(Wiener-Hopf)预测方程① 时，这个方程的系数是用一种非线性的方法来确定的。学习机一般总是靠非线性反馈来运转。隆美埃尔② 和瓦塔那比③ 所说的下西洋象棋的机器，在按程序运转了 10 到 20 小时的基础上，能满有把握地学会击败设计它的人。

瓦塔那比关于应用程序设计机的哲学思想是很激动人的。他把寻找一种最适合某种巧妙和简单准则的证明初等几何定理的方法，看成是学习一种博奕，这种博奕的对手不是个别的人，而是我们称之为"妖魔上校"(Colonel Bogey)的东西。当我们要在经济、直观和其它价值的基础上，用确定一定数目的未定参数的值的方法，来建立一个准美学(quasi-aesthetic)式的理论时，我们就是在用逻辑推理玩一种瓦塔那比所研究的那类博奕。的确，这种博奕只是一种有限的逻辑推理，但它却是值得去研究的。

许多形式的斗争活动，我们通常不把它们看作是博奕，但是，通过博奕机理论却有力地说明它们具有博奕的性质。猫鼬与蛇之间的搏斗就是一个有趣的例子。如刻卜林(Ripling)在"Rikki-Tikki-Tavi"中所指出的，虽然猫鼬皮肤上的硬毛使蛇很难咬进它，因而多少可以起一些保护的作用，但是，猫鼬对于眼镜蛇的蛇毒并没有免疫的能力。如刻卜林所说的，这种搏斗是一种死神之舞，一种力气和敏捷的竞争。没有理由认为猫鼬的个别动作比眼镜

---

① Wiener, N., *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications*, The Technology Press of M. I. T. and John Wiley & Sons, New York, 1949。

② Samnel, A. L., "Some Studies in Machine Learning ; Using the Game of Checkers", *IBM Journal of Research and Development* ,3,210—229(1959).

③ Watanabe, S., "Information Theoretical Analysis of Multivariate Correlation", *IBM Iournal of Research and Development*, 4, 66—82(1960).

蛇快些或准确些。然而猫鼬通常是杀死眼镜蛇而自己并不受伤。怎么能够做到这一点呢？

我看见过这样一次搏斗，也从电影中看到过类似的搏斗，我在这里对它作出一种我认为是有根据的解释。我不能担保我的观察也像我的解释那样正确。猫鼬开始用一种佯攻来挑起蛇对它的进攻。猫鼬闪避和作其它伪装的动作，这样我们就看到在两个动物的双方都作一种有节奏的动作。无论如何，这种舞蹈不是静态的而是逐渐发展的。当舞蹈继续下去，针对眼镜蛇的进攻，猫鼬的伪装动作出现得越来越早，等到眼镜蛇的身子伸长了，不能迅速动作了，猫鼬就真正发动最后的攻击。这时，猫鼬的进攻就不是一种佯攻，而是对准眼镜蛇的头，致命地咬一口。

换句话说，蛇的行动方式只限于简单地冲击，每一次冲击都是为冲击而冲击；而猫鼬的行动方式则考虑到搏斗的整个过去的一段，如果不是很长的一段，至少是它能够估认的一段，猫鼬的活动有几分像学习机，它的真正致命的攻击是由那高度地组织起来的神经系统来决定的。

正如华尔脱·狄司耐（Walt Disney）几年前的一部影片中所表现的，当一只西方鸟攻击一条响尾蛇时，也发生非常类似的情况。鸟用嘴和爪子搏斗和猫鼬用牙齿来搏斗，它们在活动的型式上是很相像的。斗牛也是属于这方面的很好的例子。请记住，斗牛并不是一种运动，而是一场表演牛和人的美感和相互协调的动作的死神之舞。性情平静的牛本来不会进行这种搏斗的，从我们的观点看来，我们可以不去考虑对牛的最初的鞭策，这种鞭策的目的是要使竞赛双方的交战能力都得到最高度的发展。有修养的斗牛士有很多套动作，例如炫耀他的披肩，各种佯攻，绕足趾旋转等等，这些动作都是为了使牛耗尽它的冲劲并且在斗牛士准备把 estoque 刺入牛的心脏的那一时刻，使牛处于松弛的状态。

我所说的关于猫鼬和眼镜蛇，斗牛士和牛之间的搏斗同样适

用于人与人之间的体力竞赛。我们来看看一场用短剑的决斗。它包括一连串的佯攻、闪避和冲刺，双方的目的都是为了把对方的剑引出某条线以外，以致他能刺中对方而又不因双方的接近而把自己暴露在对方面前。再有，在一场网球选手赛中，每一次只考虑如何送这一次的球或回这一次的球是不够的，较好的战略是迫使对手在一连串的回球中逐渐处于一种劣势，直到他无法再完全的回球。

这些体力竞赛和我们打算让博奕机去玩的那类博奕都有同样的学习因素，这种学习因素表现为对对手的习惯和自己的习惯的认识。对于体力竞赛上适用的东西同样适用于智力因素较强的那些竞赛，例如在战争和模拟战争的游戏中，指挥部就是靠军事经验的因素来取胜的。这对于古典的陆战和海战是如此，对于现代的还没有进行过的原子武器的战争同样是如此。像用学习机使下西洋象棋(checker)机械化一样，对于所有这些战争的指挥也可能做到某种程度的机械化。

没有比想到第三次世界大战更可怕的了。是否有一部分危险真正来自对学习机的滥用，是值得深思的。我一再听到有人说，学习机不会为我们造成任何新的危险，因为当我们感到有危险时，可以把它关掉。我们究竟能不能关掉它呢？要有效地关掉一部机器，我们必须得到是否到了危险点的情报。事实上我们制造的机器并不能保证我们要关机器时获得相应的情报。这一点在谈到下棋机运转了很有限的一段时间后，就能打败它的设计人时，就已经令人信服了。况且近代数字机的极快的运转速度已经超出我们对危险指标及时作出考虑的能力范围。

关于具有很大威力和完成某种对策的巨大能力的机器，关于这种机器的危险性的思想，不是什么新东西。新东西是我们已经有了这类有效力的机器。在过去，类似的可能性被认为是魔法，成为各种传奇和民间故事的题目。这些故事彻底地探讨了魔术师的道

德地位。我在一本较早出版的"人应该像人那样来使用"① 的书中已经讨论过传奇中的魔术道德的某些方面。我要重复一下在该书中讨论过的某些材料，为的是在学习机的新成就上，更精确地说明它。

一个最有名的魔术故事就是哥德的"魔术师的徒弟"。故事中说，魔术师离开了他的徒弟、仆人和打水的零工。零工是一个懒惰而有发明才干的小孩，他把他的打水的工作交给一把扫帚，对着扫帚他喊出从主人那里听来的魔术的约言。扫帚殷勤地为他工作，毫不停止。小孩快要淹死了。他发觉他没有学会，或者是忘记了叫扫帚停下来的第二句咒语。在绝望中，他拿起扫帚，用他的膝盖把它折断，使他惊慌的是，扫帚的两半继续在打水。幸好在他没被完全淹死以前，主人回来了，主人念出咒语叫停住扫帚并且给他的徒弟一顿严厉的责骂。

另一个故事是《天方夜谭》中的渔人和妖魔。渔人在他的网中打上来一个封漆上盖有梭罗门印章的瓶子。在这个瓶子中，梭罗门囚禁了一个反叛的妖魔。妖魔出现在一片烟雾中，这个巨大的家伙告诉渔人说，在他被囚禁的头几年，他曾决定要以权力和幸福报答他的拯救者，现在他却决定要用手杀死渔人。幸好渔人找到了一个方法把妖魔装回瓶里并把它投进海底。

比这两个故事更可怕的是本世纪初英国作家贾可布斯(W. W. Jacobs)写的猴掌的寓言。一个退休的英国工人与他的妻子和朋友，一位从印度来的英国少校军官，闲坐在家。少校军官给他的主人看一个样子像枯干的猴掌的护身符。这是一个印度圣徒送给他的，圣徒打算满足三个人中每一个人三个愿望，以此来说明向命运挑战是愚蠢的。军人说他不知道第一个所有者的头两个愿望，只

---

① Wiener. N., *The Human use of Human Beings*, Cybernetics and Society, Houghton Mifflin Company, Boston, 1950。

知最后一个愿望是死。他告诉他的朋友，他自己是第二个所有者，但是不愿说出他自己的恐怖经验。他把猴掌投入火中，但是他的朋友又把它取回并且打算试一试它的威力。退休工人的第一个愿望是要 200 英镑。不久之后，有人敲门，雇他儿子的那家公司的一个职员走进屋来。父亲明白了他儿子已经被机器轧死，公司虽然不承认负有什么责任和法律上的义务，但是愿意付给死者的父亲数目为 200 英镑的抚恤金。受悲伤打击的父亲提出了他的第二个愿望——让他儿子回来——当有第二次敲门声而门被打开时，出现了一个东西，不用多说，这就是他儿子的亡魂。他的最后一个愿望就是让亡魂走开。

在所有这些故事中，魔术的动作机构都是木头脑瓜式的，如果我们求它造福，那我们就向它要我们真正需要的东西，而不要向他要那自以为需要的东西。学习机的新的真正的动作机构也是木头脑瓜式的。如果我们为赢得战争而设计一部机器，我们就应该想好我们所指的胜利是什么意思。打一场不引起直接灾难的核战争的唯一经验只是由模拟战争的游戏得来的。如果我们用这种经验作为实际的意外事件中的行动指南，我们在博奕设计中用到的胜利的价值就必须是我们所知道的在一场战争的实际结果中的那同一价值。我们只有在直接的，巨大的，难挽回的危险中才能知道这种价值。我们不能希望机器在偏见和感情的妥协方面也跟我们一样，由于这种感情的妥协，我们可以自己把毁灭叫作胜利。如果我们追求胜利，但是并不知道我们所要的胜利是什么意思，我们将会发现鬼魂在敲我们的门。

关于学习机谈得很多了。现在让我对自生殖机说一两句话。这里机器和自生殖两个词都是重要的。机器不只是物质的一种形式，而是为完成某确定目的的一种动作机构。自生殖也不仅是生产出一个捉摸得到的复制品，而是要生产出一个具有同样功能的复制品。

这里有两个不同的论点需要证明。其中之一纯粹是结构上的，涉及的问题是：机器能否有足够的部件和充分的复杂结构来实现它的功能中的自生殖功能。这个问题已故的约翰·冯·诺依曼已经作了肯定的回答。另一个问题涉及到制造自生殖机的实际操作程序。在这里我的注意力将限于一类虽不包括所有机器，但具有很大普遍性的机器。我指的是非线性变换器。

这种机器是一种输入为一简单时间函数，输出为另一时间函数的装置。它的输出是由输入的过去完全地决定的，但是，一般说来，输入增加，输出并不成比例地增加。这样的一部装置就叫做变换器。所有线性和非线性变换器的一个共同性质就是对时间的平移的不变性。如果一部机器在执行某种功能，那末，把输入的时间向后移动某一时间，输出也就被移后同一时间。

非线性变换器的正则表示式是我们的自生殖机理论的基础。对于线性装置十分重要的阻抗和导纳的概念，在这里是完全不适用的。我们将提出实现这种表示的某些新方法，这就是部分由我[①]发展，部分由伦敦大学丹尼斯·格博教授[②]发展的方法。

格博教授的方法和我的方法都引导到非线性变换器的制造，这种非线性变换器线性到这样的程度，以致它能用一个输出来表示，这个输出是一组具有相同输入的非线性变换器的诸输出的和。这些输出带上它们的可变的线性系数被加在一起。这使我们在设计和说明非线性变换器时能够应用线性展开理论。特别是，这种方法允许我们用最小乘方法来得到各组成项的系数。如果在这种方

---

① Wiener, N., *Nonlinear Problems in Random Theory*, The Technology Press of M. I. T. and John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958。

② Gabor, D., "Electronic Inventions and Their Impact on Civilization", *Inaugural Lectures*, March 3, 1959, Imperial College of Science and Technology, University of London, England。

法中加上另一个方法，即对该装置的所有输入的集合的统计平均，我们就得到正交展开理论中一个不同的分支。非线性变换器理论的统计根据，可以从对每一特定情况下诸输入的过去统计的实际研究中得到。

这是关于格博教授的方法的粗略说明，至于我的方法基本上类似，只是我的研究的统计根据稍有不同。

大家都知道电流并不是连续地被传导的，而是由一束在均匀度上有统计变化的电子流来传导。这种统计上的起伏可以由布朗运动理论，或者由散粒效应和真空管噪声等类似理论很好地加以表示。关于这些问题，我将在下一章中作某些讨论。能发生具有特定统计分布的、标准化的、散粒效应的装置无论如何是能制造出来的，这样的装置已经作为商品而在生产了。请注意，真空管噪声某种意义上可说是一种万全的输入，因为在一段足够长的时间内，它的起伏迟早总可以去近似任何给定的曲线。真空管噪声的积分和平均值理论是非常简单的。

利用真空管噪声，我们很容易确定一个正规和正交的非线性运算的闭集。如果接受这些运算的输入有与真空管噪声相当的统计分布，那末，我们的装置的两个组成部件的输出的乘积的平均值(对真空管噪声的统计分布所取的平均)将为零。而且每一部件的输出的均方值都能被规格化为1。于是应用大家熟习的正交函数理论就可以把一般的非线性变换器表成这些组成部件的展开式。

特别是我们的装置的各个部件的输出是厄米特多项式的乘积，这个多项式以输入的过去作它的拉格里系数(Lagueree coefficients)。这些在我的随机理论中的非线性问题一书有详细的介绍。

自然，要对一组所有可能的输入取平均值，初看起来，是困难的。这个困难所以能解决是由于散粒效应输入具有测度可迁性，或各态历经性。任何可积函数，其参数具有散粒效应输入的分布，它对时间的平均，几乎每一次都是等于它对系综的平均。这就允许我

们把装置上的两个部件加上同一散粒效应输入，并且用对时间取平均值代替对整个系统取平均值来求得两部件的输出的乘积的平均值。所有这些步骤所需的运算项目并没有超过两个电势相加，相乘和对时间取平均值的范围。能作这些运算的机器都是现存的。事实上，格博教授的实验方法所用的基本仪器与我所用的是相同的。他的一个学生发明了一种特别有效和经济的乘法机器，这种机器依靠两个磁场线圈的吸引使一个晶体产生压电效应。

总起来说就是，我们能够用许多线性项的和来模拟任何未知的非线性变换器，其中每一个线性项都有固定的特性并带上一个可调整的系数。当同一散粒效应发生器同时联接在那未知变换器和一特定的已知变换器的输入端时，那特定的已知变换器所带的那个系数能够由这两个变换器的乘积的平均值来确定。再有，如果用使各系数自动地转送到反馈装置上去的办法来代替前面这个办法——在一个仪器的刻度上数出结果，然后用手把结果送到一个变换器上，以此得到要模拟的装置的一个模拟部件——并没有什么特别的困难。我们已经成功地做到的是：制造一个能模拟任何非线性变换器的特性的白箱，然后把它与一给定的黑箱变换器进行类比，方法是给两者加上同一随机输入并把它们的输出以适当方式联接起来，使它们不需要人的干预就能达到一种适当的结合。

请问这个过程，与另一些过程——基因作为一个样板，从氨基酸和核酸的一种比例不定的混合物中，形成与它相同的另一些基因分子，或者，病毒把从它的寄主的组织和体液中形成的其它同种病毒分子引变成自已那种类型——从哲学观点看来是否有很大的不同。我并不完全指望这些过程在细节上也是相同的，但是我却相信从哲学的观点看来，它们是非常类似的现象。

第　十　章

脑电波与自行组织系统

在前一章中，我讨论了学习和自生殖问题，它们既适用于机器也适用于生物系统，至少近似地适用于生物系统。我在这里还要重复我在序言中提出的某些论点并且把它们直接加以应用。如我所指出的，这两种现象是相互密切关联的，因为头一个现象是个体依靠经验去适应周围环境的基础，我们叫它为个体发育的学习，第二个现象提供变异和自然选择借以起作用的材料，它是系统发育的学习的基础。我曾经讲过，哺乳动物，特别是人，主要是通过个体发育学习来调节他们与周围环境的关系，至于行为方式有很大不同的鸟，在它的个体生命中不进行什么学习，更多地是靠系统发育学习。

我们已经知道非线性反馈在这两种过程的起源上非常重要。现在这一章要专门研究非线性现象在其中起主要作用的一种特殊的自行组织系统。我在这里所说的就是我认为发生在脑动电流图或脑电波的自行组织中的东西。

在我们讨论这些问题的思想内容之前，我必须说说什么是脑电波？它们从精确的数学处理的角度看来具有怎样的结构？很多年以前就已经知道，有某种电势伴随神经系统的活动而产生。在这个领域中的第一次观察要追溯到上世纪初，这个观察是由伏特(Volta)和加万里(Galvani)在蛙腿的神经肌肉标本上完成的。这就产生了电生理科学。然而，这门科学直到本世纪头 25 年以前，还

是进展很慢的。

为什么生理学的这一分枝发展得如此的慢，这是值得反省的，用来研究生理电势的原始仪器就是电流计。这些电流计有两个缺点。第一，从神经本身得来的，用以推动电流计的线圈或指针的整个能量是太小了。第二个困难，那个时候的电流计的运动部件有很大的惯性，为了使指针停在它准确的位置，需要一个很大的回复力。也就是说，电流计实际上不只是一只记录器，而且是一只畸变计。早期最好的生理电流计是爱因沙文(Einthoven)的弦线电流计，它的运动部件简化到只是一根线。在当时的标准看来，如此精细的这种仪器，要不产生严重畸变地记录下小的电势还是不够的。

于是电生理学期待着一种新的技术。这种技术是属于电子学方面的，它们有两种形式。其中之一建立在爱迪生发现的关于气体导电的某些现象的基础上，这些发现引起了真空管和放大用电子管的应用。这些管子使我们能够把一个弱电势很忠实地变换为强电势。因此，也就使我们能够用一种不是由神经发出的，而是由它控制的能量，来推动记录装置的最后的元件。

第二个发明也与真空中的导电有关，它叫做阴极线示波器。这使我们能够用一种比以前任何的电流计要轻得多的东西作为仪器的运动部件，这个东西就是一束电子。借助于这两种装置(分别地或结合起来用)，本世纪的生理学已经能够很忠实地跟踪一个小电势的时间序列，而这在 19 世纪是完全超出了仪器正确工作的范围的。

有了这些工具我们就能得到微弱电势的时间序列的正确记录，这些微弱电势是插在头皮上的或植入大脑中的两个电极之间的电势。这些电势在 19 世纪都曾经观察过，新的正确记录的威力激起了 20 或 30 年前的生理学家的巨大希望。至于把这种仪器用来直接研究大脑的活动的领袖人物，在德国有柏尔格尔(Berger)，在英国有安德连(Adrian)和马修斯(Matthews)，在美国有杰斯柏

(Jasper),戴维斯(Davis)和吉卜斯(Gibs)夫妇。

必须承认脑电流描记术的近期发展直到现在还不能满足这个领域的早期工作者的宏愿。他们那时得到的数据是由印字机记录下来的。它们是一种非常复杂和不规则的曲线;虽然可以辨认出某些占优势的频率(例如每秒振荡约10次的∂律),但是这印字机的记录是一种不适合于作进一步数学处理的记录形式。结果是脑电流描记术成为一种技术而不是一门科学,它依赖于受过训练的观察者在大量经验的基础上辨认印字记录的某些性质的能力。这就是那反对对脑动电流图所作的解释的最基本的理由。

在近二三十年间,我对连续过程的调和分析发生了兴趣。当物理学家早已考虑过这样的过程时,调和分析方面的数学家几乎都还局限在研究周期过程,或当时间从正方向或负方向前进时在某种意义上渐趋于零的那种过程。在把连续过程的调和分析放在一个巩固的数学基础方面,我的工作要算是最早的尝试。我发现这方面最基本的概念就是自相关的概念,它已经由泰洛(G. I. Talor,现在叫 Sir Geoffrey Taylor)在研究湍流① 时用到过。

时间函数 $f(t)$ 的自相关由 $f(t+\tau)$ 与 $f(t)$ 的乘积的时间平均来表示。作自相关的表示式时,即使在所研究的实际情况中,我们遇到的是实变数函数,引用时间的复变数函数仍然较为方便。这时自相关就变成 $f(t+\tau)$ 与 $f(t)$ 的共轭函数的乘积的平均值,不论我们使用的是实函数或复函数,$f(t)$ 的功率谱都是由自相关的富氏变换得到的。

我已经提到印字机记录不适于作进一步的数学处理。要自相关的概念能发挥很大作用,必须用另一种较适于仪器工作的记录方法。

---

① Taylor, G. L., "Diffusion by Continuous Movements", *Proceedings of the London Mathematical Society*, *Ser.* 2, 20, 196—212(1912—1922).

记录微小电势起伏，以便作进一步处理的最好途径之一是应用磁带。它能把电势的起伏以一种永久的形式贮存起来，以便在以后任何需要的时候加以利用。麻省理工学院电子学研究室十年前就已经在罗逊布里斯(Walter A. Rosenblith)教授和布拉杰尔(Mary A. B. Brazier)博士① 的指导下设计出这样一种仪器。

在这种装置中，磁带以调频的形式加以利用。原因是读出磁带时往往会抹掉原记录的某些部分。如果用调幅的磁带，记录被抹掉一些就会引起所载消息的改变，因而在下一次再读磁带时，我们实际读到的会是一种改变了的消息。

用调频的方法虽然也有记录被抹掉一些的问题，但是我们读磁带的仪器对于振幅的变化是不敏感的，它读到的只是频率。直到磁带被抹损到完全不能认读以前，对磁带的部分抹损都不会使所载的消息产生很大的畸变。磁带能读很多遍，其正确性与第一次读它时几乎相同。

从自相关的性质可以看出，我们需要的工具是一种能把对磁带的认读延后某一可调节的时间的机器。如果把一部仪器的两个探头一个跟一个地放在一时间间隔为 A 的磁带记录上，就有两个信号发出来，它们之间除了在时间上的相对位移动外，其它都是相同的。时间移动的大小决定于两个探头间的距离和磁带的速度，它们都是能随意改变的。我们可以把一个叫 $f(t)$，另一个叫 $f(t+\tau)$，而 τ 就是时间移动。两者的乘积可以通过例如平方定理整流器(square-law rectifier)和线性搅拌器(linear mixer)，利用恒等式

$$4ab = (a+b)^2 - (a-b)^2 \qquad (10.01)$$

来得到。这个乘积可以用一个时间常数比试样的时间间隔 A 要长

① Barlow, J. S., and R. M. Brown, *An Analog Correlator System for Brain Potentials*, Technical Report 300, Research Laboratory of Electronics, M. I. T. Cambridge, Mass. (1955).

很多的电阻-电容器网络的积分运算近似地加以平均。所得的平均值与有 τ 延后的自相关函数的值成比例。对不同的 τ 值作重复的处理就得到一组自相关值[或者叫作：对一个长时间基 A(large time base A)的抽样自相关(sampled autocorrelation)]。下图 9 是一条属于这类实自相关(actual autocorrelation)的曲线①。请注意我们只给出了曲线的一半，因为对负时间的自相关与对正时间的相同，至少当我们要求其自相关的那根曲线是实曲线时，正负时间的自相关是相同的。

以秒为单位的 τ

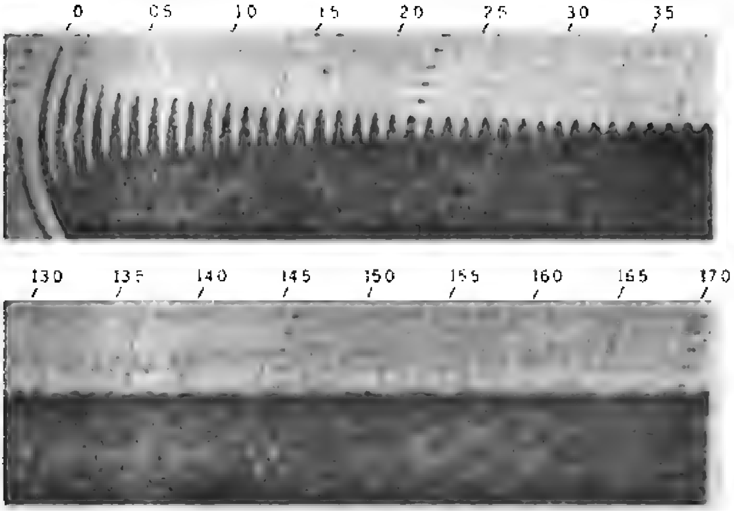


图 9　自相关

① 这个工作是与麻省省立医院神经生理实验室和麻省理工学院通信生物物理(The Communications Biophysics)实验室合作进行的。

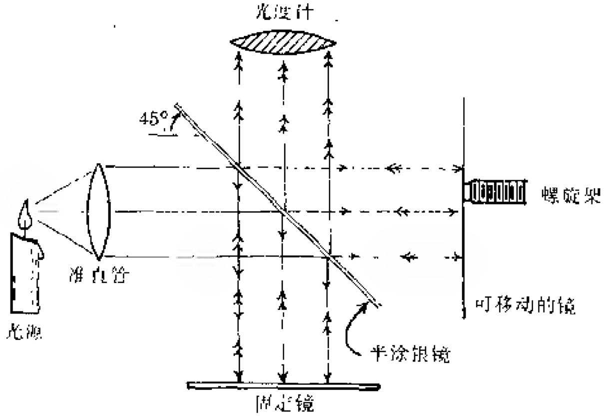


图 10 迈克耳逊干涉仪

类似的自相关曲线在光学中已经用了多年了，光学中得到自相关曲线的仪器就是迈克耳逊干涉仪(图 10)。利用一个反射镜和透镜的系统，迈克耳逊干涉仪把一束光分成两部分，使它们走不同长度的路程，然后再把它们合成为一束光。不同的路程长度产生不同的时间延后，合成的光束是进入光束的两个复制品(它们又可以再次表示为 $f(t)$ 和 $f(t+\tau)$)的和。当光束的强度由一个对功率敏感的光度计加以测量时，光度计的读数与 $f(t)+f(t+\tau)$ 的平方成比例，因之包含与自相关成比例的一项。换句话说，从干涉仪条纹的强度能求得自相关(对一种线性变换为例外)。

所有这些在迈克耳逊的研究中都未明显指出。可以看出，如果对条纹作一富氏变换，干涉仪就为我们提供出光的功率谱，因之干涉仪实际上也就是一架分光计。它确实是我们所知道的最准确的分光计。

这类分光计只是在最近几年才开始应用，听说现在已成为精密测量的重要工具。所以要提到这一点的意义是：我现在提出的求

自相关记录的技术同样可以用在分光计上，它提供一种方法使我们能把从分光计获得信息的界限加以推进。

让我们来讨论从一根自相关曲线求脑电波波谱的技术。设 $C(t)$ 是 $f(t)$ 的自相关曲线。$C(t)$ 可以写成

$$C(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{2\pi i t\omega} dF(\omega) \qquad (10.02)$$

的形式。这里 F 经常是 ω 的增函数，或至少是 ω 的非减函数，我们将叫它为 f 的完全波谱(integrated spectrum)。这种完全波谱一般是由三部分组成，用加法联结起来。波谱的谱线部分只是在一组数得清的点上增加。把这一部分除外，剩下的就是一个连续波谱。这个连续波谱是两个部分的和，其中一部分只在一个测度为零的集上增加，而另一部分却是绝对地连续的，它是一个可积正函数的积分。

从现在起，让我们假定波谱的头两部分——离散的部分和在测度为零的集上增加的连续部分——都忽略不计。在这种情况下，我们可以把 $C(t)$ 写成

$$C(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{2\pi i \omega t} \phi(\omega) d\omega, \qquad (10.03)$$

其中 $\phi(\omega)$ 是谱密度。如果 $\phi(\omega)$ 是 L^2 的勒贝格类(Lebesgue class L^2)，我们就能把 $\phi(\omega)$ 写成

$$\phi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} C(t) e^{-2\pi i \omega t} dt. \qquad (10.04)$$

看了脑电波的自相关后，我们就会明白，波谱功率的主要部分是在 10 周的附近。因此，$\phi(\omega)$ 的形状将与右图类似。靠近 10 和 -10 的两个峰是互为镜象的。

从数值上进行富氏分析的途径是很多的，其中包括利用积分仪和数值计算方法。对于这两种途径来说，主峰在 10 和 -10 的附

近而不是在 0 的附近，是不便于运算的。好在有方法把调和分析转移到零频率的附近，这就大大减去了运算的工作。请注意

$$\phi(\omega-10)=\int_{-\infty}^{\infty}C(t)e^{20\pi it}e^{-2\pi i\omega t}dt. \qquad (10.05)$$

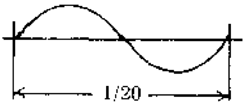
换句话说，如果我们把 $C(t)$ 乘以 $e^{20\pi it}$，我们的新的调和分析将在零频率附近给出一个频带，在频率为 +20 的附近给出另一个频带。如果我们作了这种乘法而且用取平均值的方法（等于用一个滤波器）去掉 +20 的频带，就会把我们的调和分析简化到只在零频率的附近。

现在

$$e^{20\pi t}=\cos 20\pi t+i\sin 20\pi t, \qquad (10.06)$$

因此，$C(t)\cdot e^{20\pi t}$ 的实数和虚数部分分别为 $C(t)\cos 20\pi t$ 和 $iC(t)\sin 20\pi t$。把这两个函数通过一个低通的滤波器（这相当于在 1/20 秒或更长一点的时间间隔内对它们取平均值），我们就能把 +20 附近的频带去掉。

设我们有一曲线其主要的功率都在频率为 10 周的附近。当我们把它乘以 $20\pi t$ 的余弦或正弦时，我们将得到一条曲线，它是两个部分的和，其中一部分是：（见右图）另一部分是：（见 186 页图）



当我们把第二条曲线对长度为 1/10 秒的时间取平均值时，其值为零。对第一条曲线取平均值，其值为最大高度的一半。因此，用修匀 $C(t)\cos 20\pi t$ 和 $iC(t)\sin 20\pi t$ 的办法，可以分别得到所有频率集中在 0 附近的函数的实数部分和

虚数部分的很好的近似，这个函数的分布频率将在零附近，而 $C(t)$ 的波谱的一部分则在 10 附近。现在设 $K_1(t)$ 是修匀 $C(t)\cos 20\pi t$ 的结果，$K_2(t)$ 是修匀 $C(t)\sin 20\pi t$ 的结果。我们希望得到

$$\int_{-\infty}^{\infty}[K_1(t)+iK_2(t)]e^{-2\pi i\omega t}dt$$
$$=\int_{-\infty}^{\infty}[K_1(t)+iK_2(t)][\cos 2\pi\omega t - i\sin 2\pi\omega t]dt. \tag{10.07}$$

既然这个式子是波谱，它就必须是实数。因此它等于

$$\int_{-\infty}^{\infty}K_1(t)\cos 2\pi\omega t dt+\int_{-\infty}^{\infty}K_2(t)\sin 2\pi\omega t dt. \tag{10.08}$$

换句话说，如果作 K_1 的余弦分析和 K_2 的正弦分析并把它们相加，我们就得到 f 的置换波谱(displaced spectrum)。可以证明 K_1 是偶函数，K_2 是奇函数。这就是说，如果作 K_1 的余弦分析并加上或减去 K_2 的正弦分析，我们将分别得到离中心频率的距离为 ω 的右边和左边的波谱。这种求波谱的方法，我们叫它成拍法(method of heterodyning)。

当自相关曲线局部地近似于正弦式曲线，其周期例如说是 0.1 秒(如图 9 脑电波自相关曲线所表现的那样)时，上述成拍方法的计算可以简化。我们以 1/40 秒为时间间隔来求自相关。因此，我们取 0,1/40 秒,2/40 秒,3/40① 秒等值的序列并且改变那些分子为奇数的分数的符号。我们依次在一个较长的统计游程上对这些时间值取平均而且得到一个与 $K_1(t)$ 接近相等的量。如果我们在 1/40 秒,3/40 秒,5/40 秒等值上取同样的作法，交替地改变这些值的符号，像前面一样取平均值，我们就得到 $K_2(t)$ 的近似值，由此以后的其他运算手续就很清楚了。

这种作法所以正确是因为质量分布

---

① 原文在此处为 0.1/20,2/20,3/20,与前后文矛盾——译者注。

在 $2\pi n$ 诸点上为 1

在 $(2n+1)\pi$ 诸点上为 -1

因为质量分布在其它各点都为 0，所以当把它用调和分析来表示时，将含有频率为 1 的一个余弦部分而得不到正弦部分。同样，当一个质量分布

在 $(2n+1/2)\pi$ 为 1

在 $(2n-1/2)\pi$ 为 -1

在其它各处为 0

将含有频率为 1 的正弦部分，没有余弦部分。两种分布都含有频率为 N 的部分；但是因为我们所分析的原来的曲线在这些频率上没有或几乎没有值，这些项也就不产生什么影响。这使成拍的运算大大简化，因为我们唯一要乘的因子就是 +1 或 −1。我们发现，当只有手工的工具时，成拍的方法在脑电波的调和分析中是很有用的方法，如果我们不用成拍而要进行调和分析的各种细节，就不可避免地要进行大量的工作。所有对脑波谱的调和分析的早期工作都是用成拍法作的。但是，后来证明可以用数字计算机，节省大量计算工作已不是主要的考虑，因此，后来在调和分析方面的大量工作都是不用成拍法而直接进行的。在没有数字计算机的地方，仍然有许多这样的工作要做，因此，我并不认为成拍法在实际中已经没有用了。

我在这里介绍一部分在我们的研究中得到的特殊的自相关。因为自相关包括很长一串数据，它不适于在这里全部照搬出来，我们只拿出开始的在 $\tau=0$ 的附近和稍为往前的一部分。

图 11 表示对一条自相关曲线进行调和分析的结果，这条曲线的一部分曾表示在图 9 上。这里的结果是用一架高速数字计算机[①] 获得的，但是我们发现这个波谱与我们早期靠手通过成拍法

① 用的是 M. I. T. 计算中心的 IBM-709.

所获得的波谱之间非常一致，至少在波谱的高功率部分的附近是如此。

当我们审查这条曲线时，发现功率在频率为 9.05 周/秒附近有一显著的下降。波谱下降的底点是非常明显的，它是脑电流描记术中出现过的各种量中最能以高度的精确性加以确定的一个客观量。在我们所得到的其它曲线中也有某些指征，但是它们的可靠性在细节上都还有一些问题，这个曲线在功率上的突然下降还跟着有一个很短的突然上升，因此在下降和上升之间曲线上有一个坑。不管事情是否真的如此，它强烈地暗示我们，成峰值状的功率对应于把功率从曲线的低值区域拉走的那种拉力。

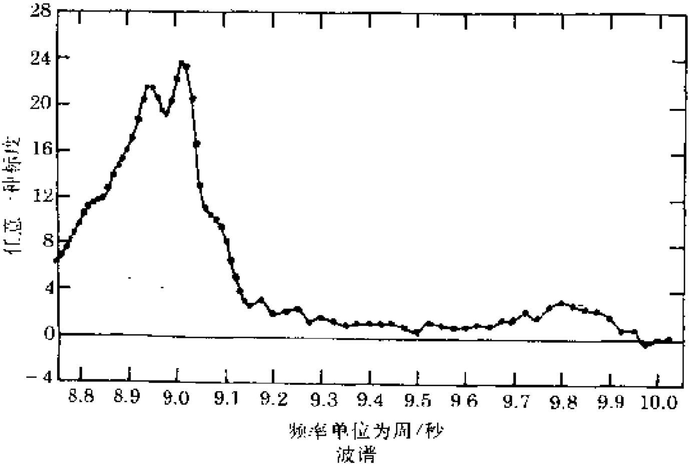


图 11

在我们得到的波谱中，波峰的主要部分集中在约 1/3 周的范围内，这件事并没有什么意义。有趣的是，四天以后另一张脑动电流图对同一对象所作的记录中，这个波峰的近似宽度仍然没有变，更有意思的是，波峰的形状一点也没有变。有理由相信，对于其它

的对象,波峰的宽度将不同,也许还会窄一些。这个研究上的设想的彻底满意的证明还待进行。

非常希望我所提到的涉及这些暗示的工作能有人用更好的仪器作精密的测量,使它们能得到明确地证明或得到明确地否定。

我现在来谈谈取样问题。为此,需要介绍一下我关于函数空间积分①的早期工作中的某些概念。借助于这种工具,我们就能为波谱已给定的连续过程作一个统计模型。虽然这个模型不是产生脑电波的那个过程的精确复制品,但是,对于我们在前一章中提到的脑电波波谱所要求的那种均方根误差来说,这个模型还是能提供足够的具有统计意义的信息。

我在这里要不加证明地提出一种实函数 $x(t,\alpha)$ 的某些性质,这种函数在我关于广义调和分析的论文② 和其它地方都谈到过。实函数 $x(t,\alpha)$ 依赖于从 $-\infty$ 到 ∞ 的变数 t 和从 1 到 0 的变数 α。它代表一个依赖于时间 t 和统计分布参数 α 的布朗运动的一个空间变数。

$$\int_{-\infty}^{\infty}\phi(t)dx(t,\alpha) \tag{10.09}$$

的式子对所有从 $-\infty$ 到 ∞ 的 L^2 勒贝格类的函数 $\phi(t)$ 都有确定值。如果 $\phi(t)$ 有一属于 L^2 的导数,10.09 式则成为

$$-\int_{-\infty}^{\infty}x(t,\alpha)\phi'(t)dt \tag{10.10}$$

因此,对于所有属于 L^2 的函数 $\phi(t)$,通过某一完全确定的极限过程,10.09 都有确定值。其它积分

① Wiener, N., "*Generalized* Harmonic Analysis", *Acta Mathematica*, 55, 117—258(1930); *Nonlinear Problems in Random Theory*, The Technology Press of M. I. T. and John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.

② 同上注。

$$\int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty}K(\tau_1,\cdots,\tau_n)dx(\tau_1,\alpha)\cdots dx(\tau_n,\alpha) \quad (10.11)$$

也可以依同样方法得确定值。我们所用到的基本定理是：

$$\int_0^1 d\alpha\int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty}K(\tau_1,\cdots,\tau_n)dx(\tau_1,\alpha)\cdots dx(\tau_n,\alpha) \quad (10.12)$$

通过令

$$K_1(\tau_1,\cdots,\tau_{n/2}) = \Sigma K(\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_n) \quad (10.13)$$

（这里的 τ_k 是通过令所有可能的各对 σ_k（如果 n 是偶数）两两相等的办法得到的）就变成

$$\int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty}K_1(\tau_1,\cdots,\tau_{n/2})d\tau_1,\cdots,d\tau_{n/2}. \quad (10.14)$$

如果 n 是奇数

$$\int_0^1 da\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}K(\tau_1,\cdots,\tau_n)dx(\tau_1,a)\cdots dx(\tau_n,a) = 0$$

$$(10.15)$$

另一个关于这些随机积分的重要定理是：如果 $\mathscr{F}\{g\}$是 $g(t)$ 的泛函，使得 $\mathscr{F}[x(t,a)]$对 a 来说，是一个属于 L 的函数而且只依赖于 $x(t_2,a)-x(t_1,a)$，那末在每一个 t_1 上几乎对所有的 a 值

$$\lim_{A\to\infty}\frac{1}{A}\int_0^A\mathscr{F}[x(t,a)]dt = \int_0^1\mathscr{F}[x(t_1,a)]da \quad (10.16)$$

这就是拜尔霍夫(Birkhoff)各态历经定理，它已被作者① 和其它人加以证明。

前面提到的 Acta Mathematica 上的论文已经证明，如果 U 是函数 $K(t)$的一个实值单式变换

$$\int_{-\infty}^{\infty}UK(t)dx(t,a) = \int_{-\infty}^{\infty}K(t)dx(t,\beta), \quad (10.17)$$

① Wiener, N., "The Ergodic Theorem", *Duke Mathematical Iournal*, 5, 1–39 (1939); also in *Modern Mathematics for the Engineer*, E. F. Beckenbach (Ed), McGraw-Hill, New York, 1956, 166—168.

其中 β 与 α 不同之处仅在于：β 经过(0,1)区间的测度不变的变换仍然成为自身。

现在设 $K(t)$属于 L^2，并设在普兰捷雷耳(Plancherel①)意义上

$$K(t) = \int_{-\infty}^{\infty} q(\omega) e^{2\pi i\omega t} d\omega. \tag{10.18}$$

让我们来研究实函数

$$f(t,\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau) dx(\tau,\alpha) \tag{10.19}$$

它代表一线性变换器作用在一布朗运动的输入上的反应。它的自相关是

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T}\int_{-T}^{T} f(t+\tau,\alpha)\overline{f(t,\alpha)}dt. \tag{10.20}$$

根据各态历经定理，它对几乎所有的 α 值都有如下的值：

$$\int_0^1 d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} K(t_1+\tau) dx(t_1,\alpha) \int_{-\infty}^{\infty} \overline{K(t_2)} dx(t_2,\alpha)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau)\overline{K(t)}dt. \tag{10.21}$$

因此，波谱几乎经常是

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-2\pi i\omega\tau} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau)\overline{K(t)}dt$$

$$= \left| \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) e^{-2\pi i\omega\tau} d\tau \right|^2$$

$$= |q(\omega)|^2. \tag{10.22}$$

这就是那实际的波谱。在取平均值的时间 A（在我们的例子中是 2,700 秒）上的抽样自相关将是

① Wiener, N., "Plancherel's Theorem", The Fourier Integral and Certain of Its Applications, The University Press, Cambridge, England, 1933, 46—71; Dover Publications, inc., New York.

$$\frac{1}{A}\int_0^A f(t+\tau,a)\,\overline{f(t,a)}\,dt$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_1,a)\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_2,a)\,\frac{1}{A}\int_0^A K(t_1+\tau+s)\,\overline{K(t_2+s)}\,ds. \tag{10.23}$$

实际抽样波谱(resulting sampled spectrum)的时间平均几乎经常是

$$\int_{-\infty}^{\infty}e^{-2\pi iu\tau}d\tau\,\frac{1}{A}\int_0^A ds\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau+s)\,\overline{K(t+s)}\,dt$$

$$=|q(\omega)|^2. \tag{10.24}$$

这就是:抽样波谱与实际波谱有相同的对时间平均的值。

为了许多目的,我们都对近似波谱感兴趣,近似波谱只在(0,B)上对τ积分,在我们前面提到的特例中,B是20秒钟。让我们回想一下,$f(t)$是实函数,自相关是对称函数。因此,我们可以用从$-B$到B的积分来代替从0到B的积分:

$$\int_{-B}^{B}e^{-2\pi iu\tau}d\tau\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_1,a)\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_2,a)\,\frac{1}{A}\int_0^A K(t_1+\tau+s)$$

$$\times\overline{K(t_2+s)}\,ds \tag{10.25}$$

它有平均值为

$$\int_{-B}^{B}e^{-2\pi iu\tau}d\tau\int_{-\infty}^{\infty}K(t+\tau)\,\overline{K(t)}\,dt$$

$$=\int_{-B}^{B}e^{-2\pi iu\tau}d\tau\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega)|^2e^{2\pi i\tau\omega}d\omega$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega)|^2\,\frac{\sin 2\pi B(\omega-u)}{\pi(\omega-u)}\,d\omega. \tag{10.26}$$

近似波谱在($-B$,B)上的平方值将是

$$\left|\int_{-B}^{B}e^{-2\pi iu\tau}d\tau\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_1,a)\int_{-\infty}^{\infty}dx(t_2,a)\right.$$

$$\left.\frac{1}{A}\int_0^A K(t_1+\tau+s)\,\overline{K(t_2+s)}\,ds\right|^2$$

它有平均值

$$\int_{-B}^{B} e^{-2\pi i u\tau} d\tau \int_{-B}^{B} e^{2\pi i u\tau} d\tau_1 \frac{1}{A^2}\int_0^A ds \int_0^A d\sigma \int_{-\infty}^{\infty} dt_1 \int_{-\infty}^{\infty} dt_2$$

$$\times [K(t_1+\tau+s)\overline{K(t_1+s)K(t_2+\tau_1+\sigma)}K(t_2+\sigma)$$

$$+K(t_1+\tau+s)\overline{K(t_2+s)K(t_1+\tau_1+\sigma)}K(t_2+\sigma)$$

$$+K(t_1+\tau+s)\overline{K(t_2+s)K(t_2+\tau_1+\sigma)}K(t_1+\sigma)]$$

$$=\left[\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega)|^2\frac{\sin 2\pi B(\omega-u)}{\pi(\omega-u)}d\omega\right]^2$$

$$+\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_1)|^2 d\omega_1\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_2)|^2 d\omega_2$$

$$\times\left[\frac{\sin 2\pi B(\omega_1-u)}{\pi(\omega_1-u)}\right]^2\frac{\sin^2 A\pi(\omega_1-\omega_2)}{\pi^2A^2(\omega_1-\omega_2)^2}$$

$$+\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_1)|^2 d\omega_1\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_2)|^2 d\omega_2$$

$$\times\frac{\sin 2\pi B(\omega_1+u)}{\pi(\omega_1+u)}$$

$$\frac{\sin 2\pi B(\omega_2-u)}{\pi(\omega_2-u)}\frac{\sin^2 A\pi(\omega_1-\omega_2)}{\pi^2A^2(\omega_1-\omega_2)^2}. \tag{10.27}$$

大家都知道，如果 m 代表一个平均值

$$m[\lambda-m(\lambda)]^2=m(\lambda^2)-[m(\lambda)]^2. \tag{10.28}$$

因此，近似抽样波谱的均方根误差将等于

$$\sqrt{\begin{aligned}&\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_1)|^2 d\omega_1\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega_2)|^2 d\omega_2\frac{\sin^2 A\pi(\omega_1-\omega_2)}{\pi^2A^2(\omega_1-\omega_2)^2}\times\\ &\times\left(\frac{\sin^2 2\pi B(\omega_1-u)}{\pi^2(\omega_1-u)^2}+\frac{\sin 2\pi B(\omega_1+u)}{\pi(\omega_1+u)}\frac{\sin 2\pi B(\omega_2-u)}{\pi(\omega_2-u)}\right)\end{aligned}} \tag{10.29}$$

现在

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\sin^2 A\pi u}{\pi^2A^2u^2}du=\frac{1}{A}, \tag{10.30}$$

因此

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(\omega)\frac{\sin^2 A\pi(\omega-u)}{\pi^2 A^2(\omega-u)^2}d\omega \qquad (10.31)$$

是 $1/A$ 乘以 $g(\omega)$ 的一个流动权重平均（running weighted mean)。当被平均的量在 $1/A$ 的小范围内近于常数（在此处这个假设是合理的）时，我们就可以把

$$\sqrt{\frac{2}{A}\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega)|^4\frac{\sin^2 2\pi B(\omega-u)}{\pi^2(\omega-u)^2}d\omega} \qquad (10.32)$$

作为波谱任何点上均方根误差的一个近似强值（approximate dominant of the root-mean-square error)。

请注意如果近似抽样波谱在 $u=10$ 处有最大值，其值将是

$$\int_{-\infty}^{\infty}|q(\omega)|^2\frac{\sin 2\pi B(\omega-10)}{\pi(\omega-10)}d\omega, \qquad (10.33)$$

对于平滑的 $q(\omega)$，它的值离 $|q(10)|^2$ 不会很远。作为一个测量的单位，波谱对这值的均方根误差将是

$$\sqrt{\frac{2}{A}\int_{-\infty}^{\infty}\left|\frac{q(\omega)}{q(10)}\right|^4\frac{\sin^2 2\pi B(\omega-10)}{\pi^2(\omega-10)^2}d\omega}, \qquad (10.34)$$

因此，它不会大于

$$\sqrt{\frac{2}{A}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\sin^2 2\pi B(\omega-10)}{\pi^2(\omega-10)^2}d\omega}=2\sqrt{\frac{B}{A}} \qquad (10.35)$$

在我们所研究的情况下，它将是

$$2\sqrt{\frac{20}{2700}}=2\sqrt{\frac{1}{135}}\approx\frac{1}{6}. \qquad (10.36)$$

如果我们假定“坑”的现象是真实的，或者说，如果在频率 9.05 周/秒附近我们的曲线有一突然的下降，那就有几个生理学的问题值得考虑。值得考虑的三个主要问题是：我们所观察到的现象的生理机能；产生它们的生理机制；这些观察在医学上可能的应用。

请注意，一根清晰的频率线等于一架准确的时钟。大脑在某种

意义上是一个控制和计算装置，因此很自然地我们要问，是否其它形式的控制和计算装置也用时钟。的确大多数装置是用的。在这类装置中用时钟是为了闸流(gating)的目的。所有这类装置都要在一组脉冲之间兼夹其它很多组脉冲。如果脉冲只是靠开关线路来发送，脉冲计时的重要性是不大的，闸流也是不需要的。但是，使用这种脉冲传送方法的结果是，整个线路在消息发送完以前不能作别的用处，这就造成装置的大部分在一个时间不定的周期内不能发挥作用。因此，人们希望在一部计算和控制装置中，消息是用组合开关信号来传送。这就立即可以把装置空出来作其它的用处。要做到这一点，必须把各组消息储存起来，以便能同时把它们发出去，当它们还在机器中时，能把它们组合在一起。为此，闸流是需要的，而利用时钟可以方便地实现这种闸流。

大家都知道，至少在较长的神经纤维的情况下，神经脉冲是由许多波峰来传载的，这些波峰的形状与产生它们的方法无关。这些波峰的组合是突触机构的一项功能。在这些突触中，一些进入的纤维联结着一根出去的纤维。当进入的纤维的适当组合在一个很短的时间间隔内"激发"时，出去的纤维也"激发"。在另外一些情况下，某些进入纤维有抑制作用，它们能绝对地阻止激发或者至少增加其它纤维的阈限。无论那种情况，一个短的组合周期是必须的，如果进入的消息不在这个短周期内，它们就不能组合起来。因此需要某种闸流机构，使进入的消息差不多是同时到达。否则突触就不能作为一个组合机构而起作用①。

但是，我仍然希望进一步证明这种闸流是确实存在的。洛杉矶

① 这特别是发生在皮质上的情况的一个简化的图象，因为神经元的全或无动作要靠它自己有足够的长度，才能在神经元中以近似的形式重现进入脉冲的形状。但是，以皮质上的情况为例，由于神经元短，仍然存在整步的需要，当然这个过程是非常复杂的。

的加利福尼亚大学心理系林德斯来(*Donald B. Lindsley*)教授的某些工作与此有关。他作过一些对视觉信号的反应时间的研究。如所周知,当一个视觉信号达到时,它所刺激的肌肉的活动并不是马上发生而有某种延迟。林德斯来教授指出这种延迟时间并不是一个常数,它似乎包含三部分。其中一部分的长度是常数,其它两部分看来是均匀地分布在约 1/10 秒上。它仿佛是中枢神经系统每 1/10 秒能够接收一个进入脉冲,也仿佛是从中枢神经系统输出到肌肉的脉冲每 1/10 秒才有一个能到达。这就是闸流的实验证明;与这 1/10 秒的闸流相联系的大脑的中央 α 律的近似周期也是 1/10秒,这件事很可能不是偶然的。

中央 α 律的功能就是如此。现在的问题是这个律的产生机制。这里我们必须提出 α 律能用闪光来加强的事实。如果用周期约 1/10秒的闪光射入眼中,大脑的 α 律就发生变化,直到出现一个与闪光有相同周期的强组分。没有疑问,闪光在视网膜上产生一个电的闪烁,在中枢神经系统中几乎可以肯定也产生这种闪烁。

不管怎样,有一些证据指出,纯粹电的闪烁可以产生与视觉闪烁相同的效应。这个实验已经在德国作了。一个房间是由导电的地板和一块挂在天花板上的绝缘了的金属板作成。把研究对象放进房间,把地板和天花板联接在一部产生交流电势的发电机上,它的频率接近每秒 10 周。被研究对象的经验感觉是很紊乱的,它与一个类似的闪光所引起的紊乱感觉差不多。

自然,这些实验需要在控制更好的条件下进行,也需要同时对研究对象作脑动电流图。但是,就已经作过的实验来看,有迹象表明,视觉闪光所产生的效应可能由电闪烁通过静电感应产生。

请注意,如果一个振荡器的频率能够被频率不同的脉冲所改变,这个振荡器的机构一定是非线性的。一个按给定振荡频率动作的线性机构只能产生频率相同的振荡,一般可以有某些位相和振幅的改变。对于非线性机构,情况就不是这样,它可以产生许多频

率的振荡，它们是振荡器频率和所加扰动的频率的不同级的和或差。对这样一种机构很容易移动它的频率；在我们所研究的例子中，这种移动具有吸引的性质。很可能这种吸引是一种长时间的或长期的现象，对于短时间来说，这个系统仍然是近似于线性。

设想一下这种可能性：大脑包含很多个频率在 10 周/秒附近的振荡器，在这些频率的范围内，它们可以相互吸引。在这种情况下，各频率像是拉扯在一起，形成一个或多个的小丛，至少形成波谱的某一个区域。被拉扯成这些小丛的频率，一定在某些点上被扯开，这样就造成波谱上的裂缝，在那些地方的功率一定比我们原来希望的要低。这样的现象的确发生在个别人所发出的脑电波中，它的自相关曲线表示在图 9 上，其中指明在频率为 9.0 周/秒上功率有显著下降。早期研究者所用的分辨本领很低的调和分析[①] 是不容易发现这个现象的。

为了使这个关于脑电波的起源的说明是有道理的，我们还须对大脑进行考察，看看所假定的振荡器是否存在和它们的性质。麻省理工学院的罗逊勃里特教授告诉我，存在一种名叫后放电(after discharge)[②]的现象。当一道闪光送入眼睛后，与闪光有关的大脑皮质的电势并不马上回到零，它在完全消失以前要经过一连串正的和负的位相。这个电势的形状可以用调和分析来描述，经分析发现功率的主要部分是在 10 周附近。这一事实至少与我们提出的脑

① 我要指出，存在窄的中央律的一个证明已经由在英国布利斯托尔的伯尔敦神经学研究所(Burden Neurological Institude)的瓦尔特(W · Grey Walter)博士所得到。我不清楚他的方法的全部细节；但是，我懂得他所提到的现象实际上存在于他的脑电波的局部观察图(toposcopic picture)上，当从中心向外移动时，表征频率的光线集中在一个比较窄的扇形内。

② Barlow, J. S., "Rhythmic Activity Induced by Photic Stimulaition in Relation to Intrinsic Alpha Activity of the Brain in Man", *EEG Clin. Neurophysiol.*, 12, 317—326(1960).

电波自行组织的理论是不矛盾的。这些短时间的振荡器(Short—time oscillation)拉扯在一起变成连续振荡的现象已经在其它的身体周期性中观察到，例如在许多生物中都观察到近于 $23\frac{1}{2}$ 小时的周日律(diurnal rhythm)[①]。这个律可以通过改变外界环境被拉到 24 小时周日律处。倘若生物的周日律能够通过外界环境的影响被吸引到 24 小时律处，它的自然律是否精确地是一个 24 小时律，从生物学上看来就不重要了。

有一个能够帮助弄明白我的关于脑电波的假说是否正确的有趣的实验，它很可能要以萤火虫或其它像蟋蟀或青蛙这类动物为研究对象，因为这些动物能发出可看到或可听到的脉冲而且还能接收这些脉冲。很多人认为在一枝树上的萤火虫以一致的动作发出闪光，这个明显的现象曾被解释为人眼的幻觉。我听说东南亚有一些萤火虫这种现象非常显著，显著到很难用幻觉来解释。这里，萤火虫有两重的动作。一方面它是一个发射多少具有周期性脉冲的发射器，另一方面它有能接收这些脉冲的接收器。会不会这里同样也发生我们所假定的频率拉扯在一起的现象呢？为此，对闪光作精确的记录是必须的，这种记录很适于作调和分析。而且，可以给萤火虫照射例如像氖管这样的周期性闪光，这样我们就可以确定把其它频率拉成自己的频率是否是一种趋势。如果情况的确如此，我们将力求获得一个关于这些天然闪光的精确记录，并对这个记录作一个类似我们对脑电波所作的那种自相关分析。在实验没有作出以前，我不敢冒失地宣布它的结果，但这条研究路线由于它很有希望而又不太困难是非常打动我的。

频率吸引的现象在某些无生命的场合也有发生。设有一组交

---

① *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, Volume XXV (Biological Clocks), The Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, L. I., N. Y., 1960.

流发电机，它的频率是由一附属于原动机上的调速器来控制的。这些调速器使各交流发电机的频率保持在较窄的频率区以内。设各发电机的输出端并联在汇流条上，电流从汇流条流到外负荷上去，外负荷由于电灯的开灭等原因多少要发生随机的起伏。为了避免在老式的中央电站中发生的那种开关电闸的人为问题，我们假定发电机的开关是自动化的。当一部发电机的速度和位相发动到与系统的其它发电机的速度和位相足够接近的时候，一个自动装置就会把它接到汇流条上去，如果由于某些偶然的原因，它离开正常的频率和位相太远，一个类似的装置将自动地把它关掉。在这样一个系统中，如果一部发电机跑得太快因而频率太高，它就要分担大于它正常要分担的部分的负荷，如果一部发电机跑得太慢，它就只分担小于正常部分的负荷。结果是在各发电机的频率之间有一种吸引。整个的发电系统仿佛有一个真正的调速器在起作用，它比各个发电机的调速器还要精确，它是由这些调速器和发电机之间的电的相互作用所共同组成的。发电系统的精确频率调节，至少部分是由于这种电的相互作用的结果。也是由于它的作用，具有高精确度的电钟的应用才有可能。

因此，我建议平行于我们对脑电波的研究，对发电系统的输出同时展开实验的和理论的研究。

下述事实历史地看是有趣的：在交流电机工程的早期发展中，曾经尝试把现代发电系统中所用的这种常电压型的发电机串联起来，而不是像现在这样并联起来。但是后来发现各个发电机在频率方面的相互作用是排斥而不是吸引。结果是这样的系统不可能稳定，除非每个发电机的转动部件都用一根共同的轴或用齿轮把它们固定地联接起来。另一方面，发电机的汇流条并联联接证明有一种固有的稳定性，它使得把不同电站的发电机统一成一个单一的自足的系统。用一个生物学上的类比，并联系统是一个比串联系统更能使状态稳定的系统，因此它被保存下来，而串联系统通过自然

选择被淘汰。

一个引起频率吸引的非线性相互作用能产生一个自行组织系统，我们讨论过的脑电波和交流网络的例子就是如此。这种自行组织的可能性决不限于这两种现象所属的低频的范围。下面来研究频率在比如红外光或雷达波段的自行组织系统。

如我们在前面已说过的，生物学的主要问题之一就是：组成基因、病毒和产生癌的某种特殊物质是通过什么方式，从不具有这种特异性的，像氨基酸和核酸的混合物中生殖自己，通常所作的解释是，这些物质的一个分子作为样板而起作用，要组成这种物质的较小的分子把自己松开，按照样板分子的要求结合成一个与它相同的大分子。这大都是一种形象的说法，只不过是对生命的基本现象的另一种描述方法，不过是说其它的大分子是以现存的大分子作模型来形成的。但是这种形成有一个过程，这是一个动力学的过程，一个包括各种力和力的平衡的过程。描述这种力的一个完全可能的途径是：分子特异性的积极承担者可能是分子辐射的频率式样，这种辐射的一个重要部分可能是在红外电磁频率或更低的频率范围。一种病毒物质在某种情况下可能发射红外振荡，这种振荡具有促进从没有特异的氨基酸和核酸原料中形成病毒分子的能力。很可能这种现象可以看作是频率的一种相互吸引的作用。因为整个事情还待证明，有些细节也还没有完成，我不打算提出更明确的东西。检验这些论点的明显方法就是研究大块病毒物质（例如烟草镶嵌病毒的结晶）的吸收和发射光谱，并且观察这些频率的光线对在适当的营养物质下从现存病毒生产更多的病毒的影响。我所说的吸收光谱指的是那种几乎一定会存在的吸收现象；至于发射光谱，我指的是某种荧光现象。

所有这些研究都涉及到在我们经常遇到的强连续光谱的背景下如何仔细来考察光谱的高度精密的方法。我们已经知道，在脑电波的微观分析中也遇到同样的问题，干涉分光计（interferometer

spectrography）的数学与我们这里所要用的数学实际上是相同的。因此，我慎重建议在研究分子光谱时，特别是在研究像病毒、基因和癌的光谱时，试验一下这个方法的效力。预言这种方法对纯粹生物学研究和医学的全部价值还为时过早，但是我非常希望它们或许会被证明在这两个领域有极大的价值。

一般系统论

基础、发展和应用

〔奥地利〕 冯·贝塔朗菲 著

林康义 魏宏森 等译

简　介

一般系统论是第二次世界大战前后诞生的一门崭新的横向科学，它是奥地利生物学家路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig Von Bertalanffy，1901—1972)创立的一种运用逻辑和数学学科的方法考察一般系统的理论，是关于“整体”的一般科学。它的主要目的是把对象作为一个有机整体——系统来加以专门研究，试图确立适用于系统的一般原则；寻求适合于一切综合系统(整体)与子系统(部分)的模式、原则和规律。

一般系统论全书贯穿着五条宗旨：

1. 各种不同的学科，包括自然科学和社会科学，有着走向综合的普遍趋势。

2. 这样的综合看来要以一般理论为中心。

3. 这样的理论可能成为非物理领域的科学面向精确理论的一种重要的方法论工具。

4. 这一理论通过寻找出能统一横贯于各个科学的共性的原理，可使我们更接近于科学。

5. 这一理论能够导致迫切需要的综合科学教育。

该书并非一篇完整的科学著作，而是作者几十年来分别发表的有关一般系统论的文章的汇集。全书共分十章和两个附录。

第一章　导论。介绍了系统是一个无处不在的事物和对系统论发展的历史和趋势的考察。

第二章 一般系统论的含义。是作者在1956年力图用非技术语言，从各个不同的角度阐明一般系统论的含义。

第三章 有关系统的若干概念及其初步的数学描述。这是作者1945年第一次公开介绍一般系统论的论文。着重介绍了他对系统论的科学定义，认为“系统”是“相互作用着的若干要素的复合体”。并用数学一组联立微分方程式描述了系统。这是人类科学史上第一次把系统上升为一个科学的概念，文中还对系统的若干运动规律进行了揭示与分析。

第四章 一般系统论的进展。结合战后各种研究系统的理论，如控制论、信息论、自动机理论、博奕论、网络理论、图论等，力图反映系统理论研究的最新成就。

第五章 看作物理系统的有机体。这是作者1940年的成果，是他与布尔丁几乎同时创立的开放系统概念的著名论文的全文。对本世纪后半叶系统科学的发展产生了重大影响。

第六章 开放系统模型。是作者在1967年为进一步深入探讨开放系统的新成果。文中分析了生命机器论及其局限性，揭示了开放系统的一般特征。着重介绍了作者运用开放系统这一概念研究生物学所得到的成就。并指出开放系统与控制论的联系与区别。

第七章 生物学中若干系统论问题。这是他1964年把开放系统运用于生物学研究的成果之一。文中强调模型在理论生物学研究中的作用，并选用四个基本模型：有机体模型——开放系统和稳态模型，自动调节动态平衡模型、异速生长模型和所谓贝塔朗菲生长模型进行了广泛、有卓见的讨论。

第八章 人类科学中的系统概念。试图运用一般系统论的原理来研究人类科学，并探讨了社会科学中的系统和系统论的历史观与未来观。

第九章 心理学与精神病理学中的一般系统论。探讨了现代心理学发展中存在的困难。试图以系统论为心理病理学寻找走出

困境的新途径。

第十章 范畴的相对性。作者试图在生物因素和文化因素的层次上来讨论思维范畴。指出范畴的生物学相对性和文化相对性。进而讨论了透视论。

两个附录，一是关于数学系统论发展的笔记（1971 年）；二是科学的意义与科学的统一，这是对他 1947 年在维也纳大学所作的一个讲演的评论。

在修订版导言中（这是他临终前写的，1972 年发表），他提出以系统论概括所有的系统理论。认为这种广义系统论包括三部分内容：一是“系统”的科学或称数学系统论，即对各种不同的系统科学（如物理学、生物学、心理学、社会科学等）的系统进行科学的理论研究，用精确的数学语言描述各种系统，它是适合一切种类的系统的根本学说；二是系统技术（包括系统工程），就是运用系统论（包括上述各种研究系统的理论）的新概念、新方法，特别是整体论方法与系统方法解决复杂系统的实际问题。把一些创新的概念引入技术系统，确立系统技术在现代系统研究中的地位；三是系统哲学，即研究由于“系统”这一新的科学规范而产生的世界观方面的变化。以区别于传统哲学中分析的、机械论的、线性因果关系的规范。试图建立一种新的“自然界的哲学”。涉及系统的本体论、认识论，方法论和价值观。70 年代开始，系统论以一种时髦的方法论流派活跃在国际学术论坛，十分引入瞩目。有人认为系统的产生是人类思想领域大变动的一个重要标志。

魏宏森

1996 年 5 月写于清华园

译　　序

系统论最初为一般系统论，它是奥地利生物学家贝塔朗菲(L. V. Bertalanff ·）第二次世界大战前后酝酿、诞生的。这是一门运用逻辑和数学的方法研究一般系统运动规律的理论，它与信息论、控制论几乎是同时兴起的一组综合性的横断科学。它从系统的角度揭示了事物、对象之间相互联系、相互作用的共同本质、内在规律性。70 年代以来，系统论以一种新的科学方法论流派活跃于国际学术论坛，十分令人瞩目。许多国家都纷纷建立了专门研究机构，掀起了一股“系统”研究的热潮。它的产生和运用不仅对现代科学技术的发展产生了积极的影响，而且更值得重视的是它提供了一种新的系统思维方式，对抵制、克服形而上学的思想和笛卡儿主义在学术界的影响起了有益的作用。有人称系统论是继相对论和量子力学之后，又一次“改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式”；是“思想领域大变动”的一个重要标志。它的产生对马克思主义哲学的丰富和发展将会产生很大的推动作用。如果说，在 19 世纪中叶科学上的三大发现(能量守恒，细胞学说，达尔文进化论)是马克思主义辩证唯物论创立的自然科学基础的话，那么，可以毫不夸张地说，一百年后，系统论与信息论、控制论的产生和应用，与相对论和量子力学一样，为辩证唯物主义的进一步丰富和发展提供了现代自然科学基础。

自从 1978 年以来，我国老一辈的科学家钱学森和经济学家薛

暮桥倡导系统工程，使这门学科在我国得到运用并取得显著成效，人们越来越注视系统理论的研究和运用。为了适应这种需要，1981年我们着手组织翻译这本著作。我们深信，在辩证唯物主义指导下，系统理论与我国传统哲学思想相结合，在理论和实践两个方面必将结出更为丰硕的成果。它将在加速我国四化建设中起推动作用。当然，系统理论在今天又有许多新的发展，出现新的分支，实践又为我们提供了许多新的课题，摆在人们面前的是批判继承前人成果，在新形势下进行新的综合，创立新的系统论，使其成为联结系统科学与马克思主义哲学的桥梁。这是时代赋予的使命，有待于自然科学工作者与社会科学工作者共同努力、携手合作。

《一般系统论(基础、发展和应用)》一书集中地阐述了一般系统论的基本观点，可以说是系统理论方面的一部经典著作。作者从系统的定义及其基本的数学描述公式出发，引出整体性、机构化、中心化、果决性、异因同果性、异速生长、稳态、层次结构、同型性等一系列概念。力图找到一般地适用于各种系统的模式、原则和规律。他特别就一般系统论在生物学、心理学、社会学、历史学、范畴论上的应用作了探讨。贝塔朗菲把一般系统论看作逻辑和数学性质的学科，是科学思维的新"范式"；现代科学思维正由机械论的"范式"转变到一般系统论的"范式"。他认为一般系统论具有"科学之后"(meta-science)的意义。一般系统论的发展将使科学走向大统一——不像过去的"物理学之后"(metaphysics，即形而上学)那样把一切学科还原为物理学的模型与规律，而是统一于系统论的模型和规律上。

正如作者所说，在当前流行的概念和时髦话中，系统一词名列前茅。1978年以后，在我国国内也掀起了一股"系统"热潮。自然科学界，社会科学界、工程技术界、哲学界都在讨论、研究和应用系统论。但是，国内对贝塔朗菲的一般系统论，迄今只有零星的译文和介绍，未窥全豹。我们把贝塔朗菲这部著作全文翻译出来，相信对

广大科学工作者、哲学工作者、工程技术工作者和高等学校教师都有所帮助。

清华大学魏宏森同志热心发起和组织了这部书的翻译工作。参加翻译的有清华大学自然辩证法教研室和系统科学研究会的同志以及大连工学院林康义同志，并得到两校某些教授的热心指导，还参考了有些学者的译文。

各章翻译分工如下：

修订版序言：林康义。第一章：魏宏森。第二章：寇世琪。第三章：林康义。第四章：刘国庆。第五章：刘元亮。第六章：姚慧华。第七章：吴裕功。第八章：万享。第九、十章：林康义。附录Ⅰ、Ⅱ：林康义。

最后由林康义同志通校了全部译稿，付出了艰巨的劳动。

由于原作涉及的学科面很广，旁征博引，因此译文肯定有许多不妥、甚至错误之处，敬希读者批评指正。

译　者

再版译后记

我在80年代初即组织着手翻译这本书，由于多种原因迟迟到1987年才面世。事隔10年感谢新华出版社将其收入世界名著重新出版。趁此机会将书中出现的明显错误重新校核了一遍、增补了第一次出版时遗漏的前言部分，对第七章中图7.1和图7.9重新作了修改翻译（这是本书主要译校者林康义教授生前提供的）。由于我们水平有限，肯定还会有许多不妥之处，望读者指正。

魏宏森

1996.5.1于清华园

前　言

现在有必要扼要介绍一下本书的范围、内容和描述方法。

已有很多专门介绍“系统”和“系统理论”的教科书、小册子、论文集等等。“系统科学”或诸如此类的学科正迅速被确定为大学的课程。这主要是由于广义的工程科学的发展。它适应于现代技术、人-机关系，程序设计的系统复杂性的需要——这种需要是以往技术所未考虑的，而是当代的复杂性技术和社会结构所迫切需要的。在这个意义上说，系统理论主要是数学领域的一个分支。它提供了高度精巧的技术，它与计算科学有紧密的联系，这主要是已经出现的新问题的需要所决定的。

为什么在这些重要的发展方面容易引起混淆，原因在于系统理论是一个广泛的概念。它远远超出技术问题和技术需求的范围。它是适应一般科学以及从物理学、生物学到行为科学、社会科学和哲学方面的需要对它们重新定向。它已经在许多领域中取得了不同程度的成功和成果，并且预示着一种有重大影响的新的世界观来临。“系统科学”的学生接受技术训练，会使原来旨在克服当前过细的专业分工的系统理论成为成百种理论专业的又一个理论专业。而且，作为着重应用计算机技术、控制论、自动化和系统工程的系统科学似乎使系统概念得到了更新。其实，最终这种技术使人和社会变成如孟福(Mumford)在 1967 年对其历史发展过程已经作过深刻描述的那种“大机器”。

本书希望在两个方面作出贡献：为学习系统科学的学生拓宽视野；向一般读者介绍这门学科的全貌。它在当今世界是非常显著和十分重要的。尽管作者本人深感自己的不足和局限，但仍觉得有资格这样做，因为他曾是目前已成为最重要的研究和应用领域的一般系统论的最早创始者之一。

正如西蒙在1965年曾经正确指出，对于正在发展的领域应该重点介绍它的概念发展历史。因此，本书收集了大约30年间的研究著作也许是很合适的。这样，本书不是把系统理论作为一种僵硬的教条来介绍（目前确实不是这样的一种教条），而是介绍它的概念的变化和发展情况，我们希望这种介绍能为进一步学习和调查研究打下基础。

为此，我们主要依据逻辑的而不是按年月的顺序来排列这些著作，并且作了仔细的编辑工作。但编辑工作仅限于避免重复，文字上补充润色和内容上适当剪裁。我们故意未用最近的成果去更换它的内容。当然，重复也不可能完全避免，只能适可而止。因为，不同的上下文有时会有类似的思想。这些重复之处甚至对那些想要了解一般概念和欲在专门领域中加以应用的学生来说，也是不受欢迎的。

资料来源已在下面的"致谢"中列出清单。由于需要评价材料的主次，下面介绍若干重要资料。第五章（1940年）介绍了"作为开放系统的有机体理论"。这篇著作与布尔丁（1939年）的著作一起最早阐明了后来日益受到重用的开放系统概念。这本著作迄今在英、美科学家中还鲜为人知。所以全文重刊。尽管第七章（1964年）和第六章（1967年）已经部分地谈到它应该增补的许多新的发现。同样，1945年第一次宣布一般系统论的文章也略加删节重排为第三章。附录（重刊1947年的一次讲话的评论）是系统理论之类术语在学术界与技术界出现之前很久的论文。第二章是用非技术语言介绍的评论文章（1956年）。第一和第四章试图反映这方面的

最新成就。

作者希望对赞助本书的许多人和机构致谢。谢谢乔治·布拉吉勒公司的编辑乔治·勃兰特尔(Brantl)博士对本书出版提供的编辑工作上的有力协助。衷心感谢资料来源清单上所载著述第一次发表时的编者和出版者许可本书引用。国家研究委员会、加拿大国家癌症研究院、加拿大协会、阿伯塔大学一般研究委员会等等机构单位都对本书内容提供了研究经费和其他支持。作者的秘书伊丽莎白·格仑道(Grundau)女士处理手稿，查书编目，翻译德文资料，大大加快了进度。同样感谢我的妻子玛莉亚·冯·贝塔朗菲对文稿提供的帮助和意见。若没有同事们的大力协助，作者面对困难与障碍，很难坚持创建和发展一般系统论的工作。

路德维希·冯·贝塔朗菲
加拿大·埃德蒙顿　阿伯塔大学
1968年3月
(魏宏森译)

修订版序言

自本书初次出版以来，不过几年时间，一般系统论有了很大的发展。我很高兴借修订版出版的机会，就本书的观点作一些说明。

大约年前，我提出了一般系统论这个假设和术语。从此以后，由于大学课程、教科书、大众读物、杂志、学术会议、研究室、研究中心以及其他的教学和研究场合广泛地采用为学术"装备"，一般系统论——在这个名称下或在其他类似的名称下——已经成为公认的学科。所以，我提出的"新学科"的假设已经变成现实。

这是以本书将要回顾的许多成果为根据的。系统观点已经渗透于科学和技术的各种各样领域中，而且成为必不可少的东西。它还进一步表现为科学思维的一个新"范式"[用库恩(Thomas Kuhn)的说法]。这些事实造成这样的局面：可以按照不同的研究对象和反映中心概念的不同方面，用不同的方式来定义和展开系统概念。

在这种形势下，这个领域有两种可能的入门方式。一种可能的方式是径直接受某一个合用的系统模型和定义，严密地推导出相应的理论。这样的介绍幸而也是可用的。后面我们将举出一些这样的例子。

另一种方法即本书所用的方法，就是从各种不同学科所出现的问题出发，说明系统观点的必要性，并且精选一些例证作或详或略的发挥。这种做法没有严格的理论推导，而且所用的例子也可以替换，也就是说，可以用其他的可能更好一些的例子来阐明。然而，根据笔者的经验——从广大读者接受本书来判断——也根据别人

的经验，这样的全貌概述给如饥似渴地接受新思维方式的学生们提供入门是合适的；同时也给高级学者提供进一步工作的出发点。后者已被大量的研究工作都从本书吸取灵感所证实。

权威的评论家罗伯特·罗森(Robert Rosen)指出，尽管本书的一些章节可追溯到30年以前，但“必须校正的时代错误却少得惊人”(《科学》164期，1969年，第681页)。这是高度的赞扬，因为现今的科学专著即使在刚露面的时期，也要频繁地进行不少的“必需的校正”。评论家指出，这不是由于巧妙的编辑工作(事实上编辑工作只限于最小程度的文字修饰)，而明显地是由于作者的“正确”即作者奠定了牢固的基础和正确地预见了今后的发展。例如，人们可能注意到本书中关于“科学同型性”系统问题的段落，这些问题(以及其他问题)现在正是动态系统论和控制理论所要解答的问题。本书有意识地选用了一些简单的例子来解释定律的同型性，但它同样适用于复杂的事例(这些事例在数学上要复杂得多)。例如，……对中枢神经系统和细胞中生化调节网络这样不同的生物系统可以精确地进行类比，这件事是惊人的，……不同层次的生物组织系统的这个特殊类比，只不过是一大类这样的类比中的一个，这一点更加引人注目(罗森，1967年)。

从更一般的层次上说，本书在一些例子中特别提到了“不同领域一般认识原理的相似性”。但是，当时并没有预见到一般系统论会在现代地理学派中起到这样重要的作用，也没有预见到它会与法国的结构主义(如皮亚杰 Piaget，莱维-斯特劳斯 Lèvi-Stravss)相匹敌，并对美国的社会功能主义产生重大的影响。

随着系统思维和系统学说的日益扩展，一般系统论的定义重新受到检查。因此，对它的含义和范围作一些简要的说明可能是适当的。细想一下，本书作者是在广义上采用“一般系统论”这个术语的。当然，人们可能把它的含义局限于数学意义上的“技巧”(常常有人这样看)，但这是不可取的，因为事实上许多“系统”问题的“理

论”现在还不能运用数学术语。所以，这里所用的“一般系统论”是广义的，与我们经常说的“进化论”相似。进化论包括发掘出来的化石、解剖学和数学选择理论之间的一切事物。也和“行为理论”相似，它包括从鸟类观察到复杂的神经生理学理论。这关系到一个新范式的采用。

广义地说，可以指出三个主要领域，它们在内容上不可分割，而在意向上有所区别。第一个领域可以解说为“系统科学”，即各门科学（如物理学、生理学、心理学和社会科学）中的“系统”的科学探索和科学理论，以及适用于所有系统（或确定的支级系统）的原理性学说——一般系统论。

一种全新的统一体进入科学思想圈。经典科学的各门学科，如化学、生理学、心理学和社会科学，力图从可观察宇宙中分离出要素——化学分子和酶、细胞、基本感觉、自由竞争的个人等等，指望在概念上或在实验上把它们放在一起就会产生并能够理解整体或系统——细胞、心理和社会。现在我们已经懂得，要理解一个事物，不仅要知道它的要素而且还要知道要素间的相互关系，例如细胞中各种酶的相互作用，许多有意识和无意识心理过程的相互作用，社会系统的结构和动力学等等。这就需要在我们的可观察宇宙中，探索各种系统的本来面目和特性。原来，“系统”有共同的一般方面，对应性和同型性。这恰恰是一般系统论的领域，在其他方面完全不同的许多“系统”呈现出（有时是惊人的）相似性和同型性。

这样，一般系统论就是对“整体”和“整体性”的科学探索，这在不久以前还被看作是超越科学界线的形而上学的观念。至今已经研究出处理系统的新的概念、模型和数学领域，如动态系统理论、控制论、自动机理论以及集合论、网络理论、图论等系统分析方法。

第二个领域是“系统技术”，这就是现代技术和社会所提出的问题，它包括计算机、自动化、自调节机构等“硬件”以及新的理论成果、学科等“软件”。

现代的技术和社会已变得十分复杂，以至于传统的方式和手段不再满足需要，而整体论的方法或系统的方法和一般性或跨学科性则成为必要的东西。从各方面来说，情况都是如此。许多系统层次都需要科学的控制：生态系统的失调造成的紧迫的污染问题；正规组织中（如官僚机构、教育机构或军队），社会经济系统中，国际政治关系和威慑关系中出现的严重问题等等。虽然还存在着科学理解（与承认文化和历史事件的非理性大不相同）能够到什么范围的问题，存在着科学控制的可行性和满意性能够达到什么程度的问题，但可以毫无疑问地说，这些都是“系统”问题，即众多“变量”的相互关系问题。这同样适用于工业、商业和军队中比较狭窄的对象。技术上的要求导致新概念和新学科的出现，其中一部分有很大的独创性并采用新的基本观念，如控制和信息理论、对策论、决策论、线路理论和排队论等等。而且，一般的特征在于，这些观念和学科都是技术中特定的和具体的问题的产物，不过加以模型化、概念化和原理化而已。例如信息、反馈、控制、稳态以及线路理论等概念，远远超出专业的界限，带有跨学科的性质而独立于它们的专业认识，如同型反馈模型之于力学、水力学、电学、生物学等系统。从纯科学出发与从应用科学出发研究出相似的结果，如动态系统论和控制理论。此外，还有一个系列，从高度复杂的数学理论，到变量可以进行数量处理但又缺乏分析解法的计算机模拟，到具有系统性质的问题的非形式的讨论。

第三个领域是**系统哲学**，即由于引进“系统”这个新的科学范式（与经典科学那种分析的、机械的、单向因果的范式大不相同）而产生的思想和世界观的重新定向。和所有范围宽广的科学一样，一般系统论也有它的“科学之后的”方面，即哲学的方面。“系统”概念构成了一个库恩所说的新“范式”，或者构成了笔者（1967 年）所说的“新的自然哲学”，却大大不同于机械论世界观所说的“自然界的盲目规律”，似乎世界过程是一个白痴在讲莎士比亚故事。“新的自

然哲学"是机体论的观点："世界是一个庞大的组织。"

系统哲学分为三个基本部分。第一，我们必须找出"野生的自然"。这就是系统本体论——什么是"系统"，系统是怎样体现在可观察世界的各个不同层次上的。

什么东西可以定义为和描述为系统，这个问题没有显而易见的或通俗易懂的答案。我们都会同意，星系、狗、细胞和原子是真实的系统，它们是从观察中察觉到或推论出来的，并独立于观察者而存在着。另一方面，还有概念的系统，如逻辑、数学（也包括音乐），它们基本上是符号结构。再就是抽象系统（科学），它们是后者的亚类，即与实在相符合的概念的系统。

然而，区别决不表现得那样分明。当生态系统受到污染的干扰，社会向我们提出那么多没有解决的问题的时候，我们痛苦地体验到生态系统和社会系统是十分"真实的"。但是，它们不是知觉的对象或直接观察的对象，而是概念结构。甚至日常生活中的对象也如此，它们决不是简单的"给出"感觉材料或单纯的知觉，而是被从格式塔动力学和学习过程到语言和文化等一系列"心理"因素所翻译，这些因素很大程度上决定着我们实际上"看到"或察觉的东西。所以，"真实的"对象和由观察与"概念的"结构体系所给出的系统之间的区别不能用常识来描绘。这些问题很深奥，本书只能简要地说明。

这就引出系统认识论。从上文可以明显地看出，它和逻辑实证主义或经验主义的认识论有很大的区别，尽管在科学态度上有共同的东西。逻辑实证主义的认识论（以及形而上学）是由物理主义、原子论的思想和知识的"摄影理论"所决定的。从今天的知识来看，这些都已过时。生物科学、行为科学和社会科学中所产生的问题和思想模式，与物理主义和还原论背道而驰，而简单地"还原"为基本的粒子和物理学常规定律今天已不再可行了。经典科学的分析程序把分解了的组成要素和单向的即线性的因果关系作为基本范

畴；与此不同，研究许多变量的有组织整体则要求新的范畴，如相互作用、交感作用、组织、目的论等等，这就对认识论、数学模型和技巧提出许多问题。此外，知觉不是“真实事物”的反映（不管什么样的形而上学），知识不是“真实情况或实在”的简单近似，它是认识者和被认识者之间的相互作用，取决于生物学、心理学、文化和语言性质的因素的复合。物理学本身告诉我们：不存在独立于观察者的终极实体，如微粒或波。这就导致“透视”哲学。因此，物理学在其本身的领域中和有关领域中虽然有公认的成就，但不能垄断知识。与还原论以及声称实在“只不过”是一堆物理粒子、基因、反射、内驱力等诸如此类的东西的理论相反，我们把科学看作一种“透视”，人带着他的生物的、文化的、语言的才能和束缚，创造性地去处理他所“投入”的宇宙，确切地说，是他适应了的属于进化和历史的宇宙。

系统哲学的第三部分，是关于人和世界的关系，或是哲学用语中叫做“价值”的那个东西。如果实在是有组织整体的层次系统，人的表象就不同于把受随机事件支配的物理粒子作为终极的和唯一的“真正”实在的世界。确切地说，符号、价值、社会实体和文化的世界是很“真实的”东西；它嵌入宇宙的层次系统中，就便于为斯诺（C. P. Snow）所说的“两种文化”（即科学和人性、技术和历史、自然科学和社会科学以及诸如此类的对立）架设桥梁。

我所理解的一般系统论的这种人本主义，区别于机械论倾向的系统理论，后者单单讲数学、反馈和目的论，使人们担心系统理论真的是走向人的机械化和人的价值下降，走向技术统治社会的最后一步。在理解和强调纯科学与应用科学中的数学方面的同时，只要不局限于用狭隘的和片面的眼光去看一般系统论，那么我认为那些人本主义的方面是不能回避的。

将本书用作这个领域的入门书还有一个理由。一种介绍性的教科书在数学和科学的严格性方面必须简明和直截了当一些。必

要的"技巧"说明也无须很精细。但是本书将介绍一般系统论所包含的许多问题。

本书除附有一个相当全面的指明引文来源的文献目录外，还列有一个对学生有用的参考读物目录。其中，下列最新出版物特别有价值。讨论一般系统论中的各种方法的书有：克勒的《一般系统论的趋势》(*Trends in General Systems Theory*, G. Klir)，格雷及里佐的《潜在的统一(献给贝塔朗菲)》(*Unity through Diversity, Festschrift in Honor of L. von Bertalanffy*, W. Gray and N. Rizzo, eds.)，特别是第二册和第四册。罗森在《动态系统论》(*Dynamical System Theory*, *Robert Rosen*)一书中提出了这个理论。沿着我的思想路线而对动态系统论和开放系统理论作出精彩介绍的，有比伊尔的《生物物理学》(*Biophysik*, W. Beier)(可望在英国得到应用)。与此相似的成果有克勒的《一般系统论的方法》(*An Approach to General Systems Theory* K. J. Klir)。由控制技术研究系统论的书有施沃兹的《现代系统论导论》(*Einführung in die moderne Systemtheorie*, H. Schwarz)。关于人类科学中的系统论，重要的书有格雷、杜尔和里佐等人的《一般系统论和精神病学》(*General Systems Theory and Psychiatry*, W. Gray, F. D. Duhl and N. D. Rizzo, eds.)，巴克莱的《行为科学家的现代系统研究》(*Madern Systems Research for the Behavioral Scientist*, W. Buckley, ed.)，迪米拉思和皮特森的《系统、变化和斗争》(*System, Change and Conflict*, N. J. Demerath and R. A. Peterson, eds.)。系统哲学方面的有拉兹洛的《系统哲学概论》(*Introduction to Systems Philosophy*, Laszlo)。

本版对初版的内容没有改动(只校正一些印刷错误)，增加了新版序言、索引、"数学系统论发展的笔记"和进修参考读物"补遗"。希望本书继续成为学生们的一本入门书和有益于从事一般系统论工作的人。

第一章 导 论

无处不在的系统

如果分析一下当前流行的概念和时髦用语，就会发现“系统”一词在统计表上名列前茅。这个概念已遍及一切科学领域，并渗透于大众思想、专业行话和舆论工具中。从工业企业、武器装备，一直到论题深奥的纯科学领域，系统思维方式在广阔的范围内起着显著的作用。无数的出版物、会议、专题讨论会和大学课程都专门研究它。近年来还出现了不久前还不为人所知的、目前被称作系统设计、系统分析、系统工程一类的行业和工作。这些行业已经成为新技术和技术统治的核心；从事这些职业的人是我们时代的“新乌托邦者”（博古斯劳 Boguslaw，1965 年），他们与只是纸上谈兵的古典乌托邦者不同，不管是否称得上英勇，却正在致力于创造一个新世界。

这一发展的根源是复杂的。其中一个方面是从动力工程（如蒸汽或发电机发出大量的能量）到控制工程的发展，后者以弱电仪表操纵工艺过程，并导致电子计算机和自动化的产生。出现了自控机器，从简陋的家用恒温器到二次大战中的自航导弹，又到今天大大改进了的导弹。技术的发展使人们不再按照单个机器，而是按照“系统”去思考。对于在各自专业中受过训练的工程师来说，解决蒸汽机、汽车或无线电等方面的问题，是胜任有余的。但是，事情到了弹道导弹或太空飞行器就不一样了，它们必须由机械、电子、化学等不同性质的技术中产生出来的各种部件装配而成。人与机器的关系问题出现了，财政、经济、社会和政治方面数不胜数的问题也

冒了出来。此外，空中交通，乃至公路交通，也不只是投入使用的运载工具的数量问题了，而是必须加以规划和安排的系统。这样，在生产、商业和军备之中就产生了大量的问题。

于是，一种“系统方法”就成为必需的了。某个目标被提了出来，为了找到实现它的方法和手段，需要系统专家（或专家小组）去考虑种种可能的解决办法，并在极其复杂的相互作用网络中选出那些预期效率最高而成本最低的最佳方案。为了解决这些远远超出个别数学家能力的问题，精细的技巧与电子计算机乃是必需的。计算机、自动装置和控制装置的“硬件”以及系统科学的“软件”代表着一种新技术。这些被人们称做第二次革命的新技术，在近几十年内才发展起来。

这些发展并不限于工业一军备综合体。政治家们也常常求助于“系统方法”来解决诸如大气和水污染、交通拥挤、城市病害、少年犯罪和有组织的犯罪、城市规划等紧迫的问题（沃尔夫 Wolfe，1967 年），并把它称作“革命性的新概念”。（卡特 Carter，1966 年；鲍菲 Boffey，1967 年）。一位加拿大总理（曼宁 Manning，1967 年）把系统方法写入他的政纲，他说：“社会的一切要素和组分之间存在着相互作用关系。公共事务、争端、政策和计划中的基本因素必须始终作为整个系统的相互依存的组分来加以考虑和估价。”

要不是计算机科学、系统工程和其它有关领域高度复杂而必然专门化的技术易于忽视重大因素，上述那些发展本来只不过是我们当代技术社会多方面变化的又一方面。这不是凡事都求大求好（换句话说，更能谋利，更有杀伤力，或者两者兼备）的技术倾向问题，这是思想基本范畴的一种变化。现代技术的复杂性只不过是其中的一种表现——而且可能不是最重要的表现。不管怎样，我们被迫在一切知识领域中运用“整体”或“系统”概念来处理复杂性问题。这就意味着科学思维基本方向的转变。

在这里就着手去概括“系统”概念的影响是不适宜的，而且无

须提前谈本书后面就要考虑的问题。随便选出几个例子就足以勾划出问题的性质和随之而来的方向转变。读者会谅解引文中以我为中心的色彩，因为本书的目的是要表明作者的观点，而不是提供有关这一学科的不偏不倚的述评。

众所周知，物理学在过去几十年里有了长足的进步，但也产生了新的问题，可能还是性质迥然不同的问题。在外行人看来，最明显不过的问题就是现在物理学对那数目不定的几百个基本粒子还说不清道理。用一位著名代表人物的话来说（德·沙里特 de-Shalit，1966 年，核子物理学的进一步发展“需要大量的实验工作，并需要另外研究出一些有力的方法去处理具有许多个但不是无限多个粒子的系统”。大生理学家森特·乔奇（A. Szent-Gyorgyi，1964 年）异想天开地表示了同样的要求：“当我参加普林斯顿高等研究院时，我曾希望通过与这些大原子物理学家和大数学家的朝夕共处能学到一些有关生命物质的东西。但是一当我揭示出任何生命系统中都有多于两个的电子时，物理学家们就没有什么话可以对我说的了。他们和他们的全部计算机都说不出第三个电子会干些什么。显然只有这个电子自已完全知道该干什么。于是那粒小小的电子知道普林斯顿所有博学之士都不知道的一些事，而这只能是非常简单的一些事。”

几年之前，贝尔纳（Bernal，1957 年）把那些还未解决的问题系统地阐述如下：“任何了解困难所在的人现在都不会相信，物理学的危机似乎能借助任何简单的诀窍或通过目前理论的修改而加以克服。它需要的是某种更根本的东西，而这种东西比物理远为宽阔。新的世界观正在形成之中，但是在具有确定的形式之前还需要积累大量的经验和论据。它必须是前后一致的，必须包含和阐明有关基本粒子及其复合场的新知识，必须解决波粒二象性的矛盾，必须使原子内部世界和广阔的宇宙空间都能被理解。它还必须具有不同于一切先前世界观的新的范围，在自身中包含着对新事物的

发展与根源的说明。在这方面它将很自然地符合于生物科学和社会科学相结合的趋势，其中，有规则的模式与它们的演化历史融合一体。”

近年来，分子生物学的成就，遗传密码的“破译”，以及随后在遗传学、进化论、医学、细胞生理学和许多其它领域中所取得的进展已经成为常识。但是尽管（或正因为）“分子”生物学使认识加深了，“机体论”生物学的必要性反而更为明显。本书作者对这一主张已经倡导了近40年。生物学不仅关心物理一化学层次或分子层次上的事物，而且还关心较高的生命组织层次上的事物。如我们稍后要讨论的，最近获得的事实和知识已使这一要求得到了新的支持；但是几乎没有增加任何以前未曾讨论过的论点（贝塔朗菲1928年*a*，1932年，1949年*a*，1960年）。

此外，过去心理学的基本概念通常是“机器人模型”。以为行为要按照机械论的刺激—反应（S—K）图式来说明；按照动物实验的模式，条件反射似乎是人类行为的基础；“意义”应当被条件反射来取代；人类行为的特性则被否定了，等等。50多年前，格式塔心理学首先向机械论图式冲去。最近人们又作了很多努力，以达到一个使人更为满意的“人的表象”，而系统概念在这方面正日益取得其重要性（参见第八章）；例如，皮亚杰“明显地使他的概念与贝塔朗菲的一般系统论联系在一起”（哈恩Hahn，1967年）。

精神病学或许比心理学更倾向于采取系统观点（例如门林格尔Menninger，1963年；贝塔朗菲，1966年；格林克Grinker，1967年；格雷Gray。1969年等）。让我们引一段格林克的话：“在所谓总体性理论中，贝塔朗菲于1947年以一般系统论的名称初次介绍和定义的那一学说已经站住脚跟……自从那时以来，他改进、修正和应用了他的概念，创立了一般系统论学会，并出版了《一般系统年鉴》。除了一小批精神病学家外，很多社会科学家都研究、理解或应用了系统论。在波士顿的格雷博士的领导下，精神病学进入了系

统论之门，于是在1966年美国精神病学第122届年会上举行了两次会议，讨论了这一理论，并拟定了精神病学家的定期会议，以便今后参与发展这一'人类行为统一理论'。如果有(例如在精神分析学与行为主义的两次革命之后的)第三次革命的话，那么它将会从一般系统论的发展中产生。”

最近一次会议(美国精神病协会)的一篇报告中描绘了一幅生动的图景：“一间容纳1500人的房间十分拥挤，几百名听众在会议期间站了整整一上午，这必定是讨论的主题引起了听众强烈的兴趣。这就是关于在精神病学中运用一般系统论的专门讨论会上的情景，这次讨论会是在美国精神病学会底特律大会期间举行的。”(达米尤德Damude，1967年)。

社会科学中的情况也是一样。从当代社会科学理论(索罗金Sorokin，1928年，1966年)广阔的范围、普遍的混乱和矛盾之中出现了一个颇有把握的结论：社会现象必须被看成“系统”——尽管社会文化实体的定义至今仍难以确定。“从一般系统研究运动中产生了一种含有丰富的原理、观念和见识的革命性的科学观点，它已经把高度科学性的秩序和理解力带进生物学、生理学和一些自然科学的领域之中去了……现代系统研究可以提供一种更能适当地处理社会文化系统的复杂性质和动态性质的基本框架。”(巴克莱Buckley，1967年)

当代事件的进程使人联想到历史学中的类似概念，它含有这样的认识，即历史毕竟是发展中的社会学或“纵向”研究的社会学。社会学所研究的当前状况和历史所研究的变化过程，都以相同的社会文化实体为对象。

早期历史学满足于谴责昏君和邪恶独裁者的凶残和愚蠢，谴责愚昧、迷信、物质匮乏和其它有关的因素。因而历史带有“谁做了什么”的性质，即带有“个人色彩”。于是“三十年战争”就是宗教迷信和德国公侯互相抗争的产物；拿破仑颠覆欧洲，是因为他有放荡

不羁的野心;对于第二次世界大战,人们则可以谴责希特勒的禀性邪恶和德国人的好战天性。

现在我们已经不能满足于这种精神食粮了。在一个民主、教育普及和普遍丰裕的国度中,先前这些人性残暴的口实完全不能成立了。考虑一下当代发展中的历史,很难把它的非理性和兽性仅仅归因于个人(除非说我们赋予他们以行恶的"超人能力"或蠢动的"低人能力")。我们似乎真的成了"历史力量"的牺牲品——不管这可能意味着什么。社会事件似乎不只是个人的决断和行为,而应更多地看成是由社会文化"系统"所决定的,无论它是社会编见,意识形态,压力集团*,社会趋向,文明兴衰,还是别的什么。我们从科学上准确地知道污染、自然资源的浪费、人口爆炸和军备竞赛等将导致什么样的后果,每天都有无数批评者引用着不可反驳的论据告诉我们这些事。但是,无论是国家领导人,还是作为一个整体的社会,对此似乎都无能为力。如果不接受一种神学的解释的话——天欲失之必先乱之,我们似乎为某种悲剧的历史必然性所左右。

当理解到像文明这类概念的模糊性以及像施本格勒(Spengler)和汤因比(Toynbee)那样的"宏伟理论"的缺点时,社会文化系统的规则或规律的问题就是有意义的了,虽然这并不必然意味着伯林先生(Isaiah Berlen)所说的那种历史必然性。麦克尼尔(Mc Neill)的通史《西方的兴起》(1963 年),甚至从书名上就显示出反施本格勒的立场,然而它却是一部关于历史系统的史话。一种概念渗入了表面看起来没有关系的领域,"考古学过程学派"的观点据说是"借用了贝塔朗菲的发育胚胎的理论框架,按照这一理论,系统在关键时刻引起了行为,而且系统一旦这样做,也就不能再恢复到它们的原始模式了。"(弗兰奈里 Flannery,1967 年)

当社会学(比如历史学)研究非正规的组织时,另一种有关正

* 资本主义国家中为影响政策或舆论而组织的集团。——译注

规组织的理论最近也在发展，即研究有计划地建立的结构，如军事组织、官僚组织、工商企业等等的结构。这种理论是“按照这样一种哲学设计的，它所遵循的前提是：对组织唯一有意义的研究方式是把它作为一个系统来研究”，系统分析把“组织看作是由相互依赖的变量所组成的一个系统”；因而“现代组织理论几乎不可避免地要进入一般系统理论的讨论”(斯柯特 Scott，1963 年)。一位运筹学家说：“过去 20 年中我们亲眼看到‘系统’作为科学研究中一个关键性的概念出现了。当然，近几世纪来人们都在研究系统，但是现在增加了某种新的东西……。把系统作为一种统一体，而不是作为诸部分的拼合物来研究，这是与现代科学不再把现象隔离于狭窄的封闭的状态中，而开始考察它们之间的相互作用并考察越来越大的自然界对象的倾向相一致的。在‘系统研究’(以及它的许多同义词)的旗帜下，我们也目睹了当代很多专门的科学发展会聚的形势……这些研究工作以及很多其他的研究工作正在交织成一种共同的研究事业，它涉及科学与工程学科的日益广泛的领域。我们正在参与或许是最全面的事业，以达到现有科学知识的综合。”(阿科弗 Ackoff，1959 年)。

我们再回到开始时谈及的现代技术社会的那些发展。从上面这些尽管简略和粗浅的介绍中我们可以看到，现代科学和生活的整个领域里都需要按新的方式抽出的概念、新的观念和范畴，而它们都是以“系统”概念为中心的。让我们再来引录一段苏联作者的话：“为系统研究拟制专门方法是当前科学知识的总趋向，正像 19 世纪科学的特征是首先关注于阐明自然的基本形式和过程。”(列瓦达 Lewada，引自哈恩的著作)

不过，这一新发展的危险是显而易见的，并屡次被人们谈起过。按照心理治疗专家鲁什(Kuesch，1967 年)的说法，新的控制论世界并不与人有关，而是与“系统”有关；人则变成可予替换或可予取消的了。对于系统工程的新乌托邦者来说，让我们借用博古斯劳

(1965年)的一句话，恰恰是“人的要素”成了他们创造中靠不住的组成部分。或者必须把人的因素完全消除而代之以计算机硬件、自控机械之类的东西，或者必须使人的因素尽可能地靠得住，也就是使人机械化、一律化、受控化和标准化。用粗鲁些的话说，大系统中的人应该是(而且在很大程度上已经是)一个低能者或按电钮的人和博学的白痴。也就是说，在某一狭窄的专业领域中受过高度训练，但另一方面却仅仅是机器的一个部分。这符合于人所共知的系统原理，即渐进机构化原理——个人越来越成为由少数特权领袖、平庸之辈和在意识形态烟幕下追求私利的蛊惑家们所支配的齿轮(索罗金，1966年)。

无论是在面对知识的积极扩展以及环境与社会的有益控制方面，还是在系统运动中看到《华丽的新世界》* 和《1984》**，它都值得我们深入细致地研究，而且不得不与它达成协议。

系统论的历史

我们已经看到，在一切重要领域(从亚原子物理学到历史学)中有一点是一致的：科学应该重新定向。现代技术的发展也有类似的趋势。

据我所知，“一般系统论”的观念是由本书作者早在控制论、系统工程和其它有关学科出现以前首先提出来的。本书作者如何获

* 这是英国著名作家阿尔多斯·赫胥黎(A. Huxley，1894—1963)于三十年代初经济大危机时期写的一部小说，书中批评了技术至上论。它描绘了一幅技术统治一切的未来世界图景。在这样的世界上，人获得了充分的感官享受，但却失去了自由、美与创造性。卓别林《摩登时代》一片的主题就是受到这部书的启发后产生的。

** 这是英国小说家奥韦尔(G. Orwell，1903—1950年，)于1949年发表的小说，主要描写幻想中的未来世界由实行“整体主义”的超级大国所支配。——译注

致这一概念的始末，书中其它部分（第 49 页以后）有所介绍，但鉴于最近的讨论有必要在这里详细地谈一下。

正如科学与其它领域中的每一种新观念一样，系统的概念也有一段漫长的历史。这一历史中包含有许多杰出人物的名字，不过他们没有强调“系统”这个词。比如：莱布尼茨的“自然哲学”；库萨的尼古拉（Nichola of Cusa）的对立物的一致说；帕拉塞尔苏斯（Paracelsus）的神秘医学；维柯（Vico）与伊本·哈尔顿（ibnKhaldun）把历史想象为文化统一体或“系统”的序列；马克思与黑格尔的辩证法。从辉煌的大思想家行列中我们只举出了几个人的名字。文学欣赏家可以想起库萨的尼古拉的《论球战》（1463 年；参见贝塔朗菲，1928 年 *b*）和赫尔曼·汉斯（Hermann Hesse）的《玻璃珠游戏》，这两本书都把世界的活动看成是反映于精巧设计的、抽象的游戏之中。

在一般系统论的领域里已经有过一些初步的著作。柯勒（Köhler）的“物理格式塔”（1924 年）是符合这一方向的，但没有在充分普遍性上论述这个问题，而是把其研究限于物理学中的“格式塔”（生物学和心理学的现象或许可以据此加以解释）。在稍后的著作中（1927 年）柯勒提出了系统论的基本原理，打算对照有机体系统拟定出无机体系统的最一般特性。在某种程度上这一要求已由开放系统论满足了。洛特卡（Lotka）的经典作品（1925 年）最接近于这一目标，在基本论述方面，他使我们受益非浅。洛特卡确实研究了一般系统概念（不像柯勒只限于物理系统），然而由于他是统计学家，兴趣主要在人口问题而不是在个别有机体的生物学问题方面，有点奇怪，洛特卡把社会设想为系统，却把个别有机体看作细胞的总和。

然而系统研究方法的必要性和可行性只是在最近才明显起来。其必要性来自于这样的事实，即可隔离的因果链和分部处理的机械论模式，已不足以解决理论问题，特别是生物社会科学的理论

问题;而且也不足以解决由现代技术提出来的实践问题。其可行性产生于理论的、认识论的、数学的等等发展新成果。这些发展成果虽然尚属开始阶段,但已使它能逐步实现了。

我于20年代初就对生物学的研究中的和理论中的明显空白深感困惑。刚才提到当时流行的机械论方法所忽视的并起劲地加以否定的,正是生命现象中最基本的那些东西。我曾提出一种生物学的机体论概念,它强调把有机体作为一个整体或系统来考虑;而且认为,生物科学的主要目标就在可发现各个不同层次上的组织原理,我的初次论述可回溯到1925—1926年,而怀特海的(Whitehead)"有机机械论"(organic mechanism)哲学,发表于1925年。坎农(Cannon)论自动调节动态平衡的著作于1929年和1932年出版。克劳德·贝纳尔(C. Bernard)是机体论概念的伟大先驱者,但是他的工作在法国之外很少为人所知,甚至直到现在还有待于充分的评价(参见:贝尔纳,1957年)。类似的思想独立地在其他大陆上同时出现,标志了一种新趋向,但是被人接受是需要一段时间的。

我之所以讲了上面一段话,是因为近年来"机体生物学"为美国一些主要的生物学家重新加以强调(迪博 Dubos,1964,1967年;多布赞斯基 Dobzhansky,1966年;康门纳 Commoner,1961年),但没有提及笔者比他们早得多的著作,然而欧洲和社会主义国家的文献对此是充分地承认的(例如:昂格勒 Ungerer,1966年;布兰迪诺 Blandino,1960年;特里比诺 Tribino,1964年;卡纳耶夫 Kanaer,1966年;卡马里特 Kamaryt,1961年、1963年;本得曼 Bandmann,1963,1967年;阿法纳斯耶夫 Afanasjew,1962年)。可以肯定地说,最近的研究(例如:内格尔 Nagel,1961年;亨珀尔 Hempel,1963年;贝克纳 Beckner,1958年;史密斯 Smith,1966年;沙弗纳 Sohaffner,1967年)理所当然地参加了以往40年中生物学的进展,但与笔者那时的著作相比,却并没有增加任何新的观

点。

我在哲学方面的训练是符合后来称作维也纳学派的什里克小组的新实证主义传统的。然而我对德国神秘主义、施本格勒历史相对主义和艺术史的兴趣，以及类似的非正统态度，显然妨碍了我成为一个好的实证主义者。我与20年代"经验哲学协会"柏林小组的联系更紧密些，这一团体中的杰出人士有哲学家与物理学家汉斯·莱辛巴赫(Hans Reichenbach)，生理学家海尔茨伯格(A. Herzberg)和工程师帕谢瓦尔(Parseval，飞艇发明者)。

随着在新陈代谢和发育方向的实验工作和为使机体论纲领具体化所作的努力，开放系统的理论被提了出来。它所根据的事实相当简单，即有机体恰好是一种开放系统，不过到这个时候才有理论。在几次尝试性的实验以后初次提出的这一理论已收入本书第五章中。于是，生物物理学似乎在要求普通物理学按照动力学原理和热力学理论向一般化的方向发展，后一理论后来被称作不可逆的热力学。

但另一方面又出现了进一步的一般化倾向。在生物学以及行为科学和社会科学中的很多现象里已能应用数学表达式和模型了，这些现象显然与物理学和化学的实体无关，因而在这个意义上超出了被看作是"精密科学"典范的物理学。[顺便提一下，笔者曾继沙克塞尔(Schaxcl)的《理论生物学论集》之后开始撰写《精密生物学论集》，但战争期间中断了]。不同领域中这些模型在结构上的相似性或异质同型性是显而易见的。有关秩序、组织、整体性、目的论等等问题，曾被特意地排除于机械论的科学之外。而这些问题正是"一般系统论"的主要观念。

当时的情况对于这一理论的发展是不利的。生物学被认为是一种实验室的工作，而笔者在发表了《理论生物学》(1932年)之后处境十分险恶。理论生物学是在最近才为学术界所重视的一个领域。今天这一学科已出版了大量的期刊书籍，模型的建立也已成为

时髦的事情，成为人们大加鼓励的室内娱乐，抵制这一思想已是难以想象的事了。已故著名维也纳精神病学家奥托·标茨尔(Otto.Pötzl)教授对一般系统论概念所作的肯定，有助于笔者克服障碍，于是我发表了一篇声明(重印于本书第三章)。可是命运又来作梗，(在《德国哲学杂志》上发表的)论文已看过清样，但刊载它的这期杂志却又毁于战火。战后，我在讲课中提出了一般系统论(参见附录)，也与物理学家广泛地交换了意见(贝塔朗菲，1948 年)，并在课堂和专题讨论会上作了讨论。

系统论的建立曾被人以怀疑的目光看作是异想天开或自以为是。它或者被说成是“不足称道”，因为所谓异质同型现象不过是这样一些不言而喻的事例，好比说数学可被应用于各种各样的事物，因而这并不比说“发现了”2＋2＝4，对于苹果、钞票和星系都同样正确更有价值；或者它被说成是“虚假的”和“易生歧义的”，因为表面的类比(如把社会说成是“有机体”这样著名的比喻)掩盖住了实际的区别，并会导致错误的、甚至在道德上要不得的结论。此外它还被说成是在哲学上和方法论上“无根据的”，因为断言较高层次向较低层次的“不可还原性”会妨碍分析性的研究，而分析研究的成功在各个领域里都是随处可见的，如把化学还原为物理原理，或把生命现象还原为分子生物学。

人们逐渐明白，这些指责都未切中系统论的要害。系统理论试图建立前所未有的科学解释和理论，它要比各门专门科学具有更高的一般性。一般系统论是与暗藏于种种学科中的潮流相符合。1952 年经济学家博尔丁(Kobouldıng)的一封信概括得好：“我所达到的结论似乎与你们获得的结论完全相同，虽然我是从经济学和社会科学而不是从生物学的方向进行研究的，这就是说，存在着一种我称作一般经验论，或你极好地称作‘一般系统论’的东西，它在许许多多不同的科学中都有广泛的应用。我敢肯定世界各处有许多人都有与我们本质上相同的立场，但是大家远在四方，彼此互

不相识，因而很难跨越各学科之间的界限。”

在“行为科学高级研究中心”(帕洛阿尔托城)的第一年中，博尔丁，生物数学家拉波波特(A. Rapoport)，生物学家杰拉德(R. Gerard)和笔者不期而遇。“一般系统论学会”的计划在1954年“美国科学促进协会、(AAAS)的年会上实现了。后来名称改为比较普遍一点的“一般系统研究会”，现在它是AAAS的一个分支机构，它们举办的附属于AAAS大会的专门会议，听众十分踊跃。学会的地方团体在美国中心城市，并随后在欧洲各地建立起来。学会的最初纲领照录如下：

“一般系统研究会组成于1954年，目的是促进可应用于不止一种传统知识部门的理论系统的发展。其主要职能为：(1) 研究各个领域中概念、规律和模型的同型性并促进各领域之间有益的转移；(2) 鼓励欠缺理论模型的领域发展适当的理论模型；(3) 尽量减少不同领域中重复性的理论工作；(4) 通过加强各专家之间的交流来促进科学的统一”。

学会的年鉴《一般系统》在拉波波特卓有成效的编辑下，已被看作它的机关刊物。《一般系统》有意不拘泥于刻板的编选方针，而是为不同意向的论文提供园地，只要那些论文对于一个需要思想和探索的领域是适当的。大量的研究和出版物具体体现了各个领域中的这一趋势；《数学系统理论》杂志脱颖而出。

同时也出现了另一个新事物。1948年，维纳的《控制论》发表了，它是在当时计算机技术，信息论和自控机等最新发展的基础上产生的。思想酝酿又发生了一次巧合，三种基本文献几乎同时出现：维纳的《控制论》(1948年)，申农(Shannon)和威弗(Weaver)的《信息论》(1948年)，以及冯·诺伊曼(von Neumann)与摩根施坦(Morgenstern)的《对策论》(1947年)。维纳的控制、反馈和信息概念远远超出技术领域，他把这些概念推广到生物学和社会范围中。诚然，控制论并非没有先驱者，坎农的自动调节动态平衡概念

就是这些研究的基石。人们还不大知道德国生物学家瓦格纳(R.-Wagner,1954 年)在 20 年代就提出过详细的生理现象反馈模型;瑞士诺贝尔奖金获得者黑斯(W. R. Hess,1941,1942 年)和冯赫斯梓(E. von holst)在《反向输入原理》中也有所阐述。不过,控制论在科学、技术和一般宣传材料中的巨大声誉,当然应归于维纳和他所宣布的第二次工业革命。

这两个科学思想运动之间高度的一致,在弗兰克(L. Frank)为控制论会议提出的一份纲领性发言中很好地表示出来:

"目的性行为和目的论的概念长期以来与神秘的、自我完善的、自动寻觅的能力或终极原因联系在一起,通常具有超人或超自然的起源。进展到事实的研究,科学思想不得不拒绝关于目的的那些信条和目的论的那些概念,而赞成一种严格机械决定论的自然观。这一机械论概念已牢固地确立。它指出,宇宙是建立在随机地、无秩序地运动着的无个性粒子活动的基础上的。这些粒子由于数量极大,才产生了统计性的秩序和规则。如我们在经典物理学和气体定律中所看到的那样,这些概念和方法在物理学、天文学、以及后来在化学中的无可争辩的成功,为生物学和生理学规定了大方向。研究有机体问题的这一方法又为西欧文化与语言中倾向于分析的成见所加强。我们的传统中的这种基本假定和我们所使用的语言中的这种始终存在的含义,迫使我们几乎把所研究的每样东西都当作由分离的、零散的部分或因素所组成,我们必须设法把这些部分分离开来,并从中认出有说服力的原因。所以我们的成见是随研究两个变量间的关系而来的。今天我们又目睹对新方法的探索,对新的和更综合的概念的探索,以及对能够处理有机体与人格等大整体的方法的探索。目的论机制这个概念,无论用什么词来表示都可以看成是企图摆脱那些今天已经显得不适用的较老的机械论的公式;同时,它为研究自动调节过程、自动定向系统和有机体以及自我引导的人格,提供了新的、更富有成效的概念和方法论。

这样，反馈、伺服、机构、循环系统和循环过程，都可看成是完全相同的基本概念的不同的而等价的表述。（弗兰克等，1948 年。经压缩整理）

评述控制论在技术与科学中的发展将超出本书的范围，而且鉴于这一领域内广泛的文献资料，这样做也是不必要的。然而在这里概括地研究一下它的历史还是适当的，因为出现过某些误解和曲解。巴克莱（1967 年）说过："现代系统论，虽然看起来是从上次大战中涌现的新成果，但却可以看成是顽强地支配了过去几个世纪的那种科学观全面变更的一个高峰。"虽然这句话的后半部分是对的，前半部分却不对。系统论并不是"从上次大战中涌现的新成果"，而是可以上溯到早得多的时期，并且有着与武器及其有关技术发展很不一样的根源。此外，"系统论从工程系统分析的最新发展中产生出来"（肖乌 Shaw，1965 年）的说法也不对，除非按这个术语的专门意义来理解。

系统论常常被看成与控制论和控制理论是一回事，这也是不正确的。作为研究技术与自然中控制机构的理论的控制论是建立在信息和反馈的概念基础上的，它不过是一般系统论的一部分。控制论系统尽管重要，却只是自动调节系统的一个特例。

系统论的趋势

在一个把任何微不足道的新奇事物都欢呼为革命的时代，再用这个词来表示科学进展已令人厌烦。既然超短裙和留长发被称作是青少年的革命，既然任何新式汽车或制药商推出的药品也用此美称，革命这个词就成了不值得认真看待的广告口号。但是可以在严格的专门意义上使用这个词，这就是，可以用某个衡量标准来鉴定"科学革命"。

按照库恩的说法（1962 年），科学革命可以由新概念图式或

"范式"的出现来确定。它们突出了先前没有看到或没有理解的,甚至在"常规的"科学中被压制的方面(所谓常规的科学就是当时被普遍接受和实行的科学)。于是人们所注意和所研究的问题就有所改变,科学实践的规则有所变化。这可以与心理学实验中知觉格式塔的转换相比,例如同一图形既可看成是两个面孔又可以看成杯子,或者既可看成是鸭子又可看成白兔。可以理解,在这样一个急剧转变时期,自然会强调"常规"科学上升期还感觉不到其必要性的哲学分析。一种新范式的早期形成大多很粗糙,解决不了多少问题,而且对个别问题的解答也远远不够完善。出现了许多彼此竞争的理论,其中每一理论所包括的问题数目和所考虑到的最优解都是很有限的。然而新的范式的确包括了新的问题,特别是那些先前曾经作为"形而上学"而加以排斥的问题。

这些标准是库恩通过研究物理学与化学中"经典"的革命得出的,但他们也极好地表述了由机体论的和系统的概念所引起的变化,而且既阐明了它们的价值,也阐明了它们的局限。尤其不足为怪的是,系统论包括了许许多多在风格和目的两方面都不相同的方法。

系统问题实质上是科学中分析程序的局限性问题。它过去常常由半形而上学的词句来表述,如突生进化或"整体大于部分之和",但是却有一个清楚的操作意义。"分析程序"的意思是,一个被研究的整体被分解为可装配的各个部分,因而它也就能由这些部分来构成或再构成。这些程序既可从物质意义上来理解也可从概念意义上来理解。这是"经典"科学的基本原则,它可以按不同的方式来定义:分解为可分离的因果链,在科学的各个领域中寻求"原子"单元,等等。科学的进步表明,这些首先由伽利略和笛卡儿所阐明的经典科学原则在广泛的现象范围内是极其成功的。

应用分析程序取决于两个条件。第一,"各部分"之间的相互作用是不存在的,或者微弱到对于某种研究目的可以忽略不计。只有

在这个条件下，部分才能在实际上或在逻辑上和数学上被“分出来”，然后再被“装配起来”。第二个条件是，描述各部分行为的关系是线性的，只有这样，累加性的条件才能成立，也就是，描述总体行为的方程式与描述各部分行为的方程式具有同一种形式；部分过程可以叠加而得到总体过程，等等。

由“相互作用”的部分所组成的、被称作系统的整体，是不能满足这些条件的。描述它们的典型形式是一组联立微分方程，一般情况下它们是非线性的。一个系统或“有组织的复合体”可被定义为存在着“强相互作用”（拉波波特，1966 年）或“非常重要”的相互作用（西蒙 Simon，1965 年），即非线性的。因而，系统论的方法论问题比经典科学的分析——累加问题更有普遍性。

如我们说过的，处理这些问题有各种各样的方法。我们故意用“方法”（approaches）这样一个不太严密的词，因为它在逻辑上是非齐一性的，可代表不同的概念模型、数学方法、一般观点等等；然而这些方法都统一于“系统理论”。除了像系统工程、运筹学、线性和非线性规划等这样一些应用系统研究的方法外，较重要的方法有以下诸种（参见德雷舍尔 Drischel 概括得很好的叙述，1968 年）：

“经典”系统论　应用经典数学、即微积分。其目的是阐明大体适用于系统或确定的子系统（如封闭系统与开放系统）的原理，提供研究和描述这些系统的方法，并将其用于具体对象。由于这种描述的普遍性，可以说，某些形式上的特性将适用于任何作为系统（或开放系统，或层次系统等）的整体，即使它的特殊性质、组成部分、以及关系等等不为所知或未被研究。例如一般化了的动力学原理可适用于分子群体或生物实体，即适用于化学系统和生态系统；扩散，如物理化学中和流言散布中的扩散方程；将稳态模型和统计力学模型应用于交通流（格吉斯 Gazis，1967 年）；生物和社会系统的异速生长分析。

计算机化和模拟法 用联立微分方程组给系统“作模型”和下定义，如果是线性的，即使少数变量数目不多，求解也是不胜其烦的；如果非线性的，那么除特殊情况外求解将是不可能的（表1.1）。

[表 1.1]数学问题分类，用分析方法解题的难易度

（据弗兰克 1967 年）

方程	线性方程			非线性方程		
	单个方程	数个方程	多个方程	单个方程	数个方程	多个方程
代数方程	轻易	易	基本不可能	极难	极难	不可能
常微分方程	易	难	基本不可能	极难	不可能	不可能
偏微分方程	难	基本不可能	不可能	不可能	不可能	不可能

因此，计算机为系统研究开辟了新途径，它不仅加速了本来时间和精力都不容许的计算，并以例行程序操作代替了数学家的机智，而且也开拓了一些还没有数学理论及其解决办法的领域，于是，常规数学无法解决的系统就可用电子计算机来处理；另一方面，实验室的实验工作则可以用计算机模拟法来代替，这样建立的模型可以再用实验数据来检验。例如，按这一方式，B·黑斯（B. Hess）曾用一百多个非线性微分方程模型计算了细胞中糖酵解的十四步反应链。类似的分析，在经济学、市场分析等方面也是常见的。

区隔论（Compartment theory） 区隔论是系统论中由于其高度精巧性而值得特别一提的一个方面（莱西诺 Rescigno 和西格雷 Segre，1966 年），它指系统由具有某种边界条件的子系统组成，在它们之间进行着传递过程。这种区隔系统可以有“链状的”或“辐射状的”结构（区隔链，或一个与许多外周区隔进行通信的中心区隔）。当然在三个或多个区隔系统中，数学上的困难是无法克服的。借助拉普拉斯变换式和网络理论及图论就有可能进行分析。

集合论 系统一般形式上的特性，封闭系统和开放系统等等，可根据集合论而加以公理化（米萨洛维奇 Misarovic，1964 年；麦西亚 Maccia，1966 年）。在数学精巧性方面，这一方法超过“经典”系统论的较粗糙和较专门化的公式。公理化的系统论（或其目前的初步形式）与实际系统问题之间的联系还是薄弱的。

图论 许多系统问题关心的是系统的结构或拓扑的性质，而不是数量关系。在这方面有一些可用的方法。图论，特别是有向图（digraphs）理论通过把其表示于拓扑空间而使关系结构精细化。它已被用于生物学有关方面（拉舍夫斯基 Rashevsky，1956、1960 年；罗森，1960 年）在数学上它与矩阵代数有联系；在模型上则与包含部分“可渗透的”子系统的系统区隔理论有联系，并且由此又和开放系统理论有联系。

网络理论 网络理论则与集合论、图论、区隔论等相联系，并可用于神经网络这类系统（例如拉波波特 1949—1950 年）。

控制论 控制论是以系统与环境之间和系统内部的通信（信息传递），以及系统对环境的功能的控制（反馈）为基础的一种控制系统理论。如我们已谈过而且后面还要讨论的，这种模型的应用范围极广，但一般说不应把它看成与“系统论”是一回事。在生物学和其他基础科学中，控制论模型适合于描述调节机制的形式结构，例如通过框图和流向图。这样即使实际的机制还未被了解和未被描述，调节结构就能够被辨认，系统是只由输入和输出加以定义的“黑箱”。由于类似的理由，同一控制论图式可用于水力、电力、生理等等系统。技术中十分精致和复杂的伺服机构理论却只能在有限范围内用于自然系统（参见拜里斯 Bayliss，1966 年；卡尔姆斯 Kalmus；米尔萨姆 Milsum，1966 年）。

信息论 在申农和威弗的意义上（1949 年）是以信息概念为基础，并由与热力学中的负熵相当的表达公式来定义的。所以人们就预期信息可用作组织的量度（夸斯特勒 Quastler，1955 年）。信

息论在通讯工程中获得重要的地位时，它在科学学中的应用却还不太令人信服（吉尔伯特 E，N. Gilbert，1966 年）。信息和组织，信息论和热力学之间的关系仍然是一个大问题。

自动机理论 （参阅明斯基 Minsky，1967 年）这是具有输入和输出，或者不断摸索和学习的抽象自动机的理论。一个一般的模型就是图灵机（1936 年）。用最简单的方式来说明，图灵自动机就是一部能够在无限长的带子上印上或涂去“1”和“0”符号的抽象机器。可以证明，不管多么复杂的过程都能用机器模拟，只要这一过程能用有限数量的逻辑运算来表示。凡是逻辑上（即在算法符号系统中）可能的，就能用一部自动机，即一部运算机器逐字译出来（在原则上，当然决非永远是在实际上）。

对策论 （冯·诺伊曼和摩根斯坦 von Neumann and Morgenstern，1947 年）这是一种不同的方法，但也可以列入系统科学中，因为它考虑的是假定“理智的”博弈者的行为，博弈者通过对对手（或自然界）的适当策略来获得最大的收益和最小的损失。所以它主要涉及具有详细规定性的对抗“力量”的“系统论”。

决策论 决策论是研究在可供抉择的对象之间进行选择的数学理论。

排队论 研究拥挤状态下最优安排的问题。

尽管令人困惑的模型（例如开放系统、反馈回路）所运用的数学方法是各式各样和不完善的（如集合论、图论、对策论），但以上列举的几项足以表明我们已拥有一系列研究系统的方法，包括十分有效的数学方法。应该再次指出，以前未予正视及无法处理的问题，或被看作超出科学界限的、纯哲学性的问题，现在正逐步地加以探究。

当然，模型与实际常常是不一致的。即使有十分精致复杂的数学模型，但它能否应用于具体实例还是没把握的；何况有些基本问题没有可供利用的数学方法。期望过高反而产生失望。例如，控制

论证明了它对技术以及基本科学两方面的影响，产生了可供具体现象使用的模型，并使（先前视为禁忌的）目的性现象成为科学上合法的问题领域；但它没有产生一种无所不见的说明或宏伟的“世界观”，因为它只是扩大了而不是取代了机械论和机器理论（布罗洛诺夫斯基 Bronowski，1964 年）。在数学上已相当成熟的信息论，在心理学和社会学上却令人失望。对策论曾有希望用于战争和政治；但还觉察不到它已改进了政治决策和世界的状况；想想世上的权力与对策论中的“理智的”博弈者很少有相像之处，那么对策论的失败就不足为奇了。平衡、自动调节动态平衡、调节等概念以及模型，对于系统的维持是适用的，但却不适用于变化、分化、进化、负熵、不可几状态的产生、创制性、张力的增大、自我实现、发生等现象；坎农确实认识到这个问题。他承认除了自动调节动态平衡（homeostasis）外还有一种包括后一类现象的“异势平衡”（heterostasis）。开放系统理论适用于生物学（和技术）现象的广泛领域，但是必须提醒不要随意地扩大到与其概念不适合的领域中去。这类局限和欠缺对于一个不满二、三十年的研究领域来说是在意料之中的。最后，由于把在某方面有用的模型弄成某种形而上学的实在和“无他”哲学，因而使人失望，这在人类思想史上是屡见不鲜的。

数学模型的优点——无含混性、严格推导的可能性、可用观察数据来检验——是人所共知的。但是，这并不意味着可以轻视或拒绝用日常语言表达的模型。

一种**语言模型**毕竟比全然没有模型或者强加给实在和歪曲实在的数学模型要好。像具有巨大影响的各种精神分析理论就都是非数学性的，而且与自然选择理论一样，它们的影响都远远超过了后来才出现的、只涉及个别经验材料或一小部分经验材料的数学构想。

数学实质上意味着存在一套比日常语言要精确得多的算法。

科学史证明，日常语言的表述通常先于数学的表述，即先于一种算法的发明。我们很容易想起一些例子来：从文字记数到罗马数字（半语言式的、不方便的半计数法），再到具有位值的阿拉伯计数法；方程式，从语言表达到迪奥芬图斯(Diophantus)使用的巧妙的初步符号系统（但是对我们来说是很难运用的）和其他代数学建立者，再到近代的标记法；理论方面，像达尔文学说或经济学也只是后来才找到（部分的）数学表述法的。看来，先有某种非数学的模型，尽管有缺点却表现了先前未曾注意到的方面，并可期待未来会发展出一种适当的算法，这比一开始就遵循已知算法的不成熟的数学模型要更为可取，因为那种作法可能限制视野。分子生物学、选择理论、控制论和其它领域中的很多发展，表明了库恩称作"常规"科学的、即那种被一致公认的概念图式的、使人目眩的成果。

因而，用日常语言表述的模型在系统中自有其位置。系统思想即使不能用数学表达，或始终只是一种"指导思想"而不是一种数学构想，也仍保持其价值，例如，我们在社会学中或许没有满意的系统概念，单单这种见识，即认为社会实体是系统而不是社会原子的总和，或者，历史是由遵守系统一般原则的，称作文明的系统（尽管定义欠明确）所组成的见识，就已经意味着有关领域中的方向转变了。

从以上概述中我们看到：在"系统方法"中既有机械论的倾向和模型，又有机体论的倾向和模型。前者企图通过"分析"、"线性（包括循环的）因果论"、"自动机"来掌握系统，后者则通过"整体性"、"相互作用"、"动态学"（或任何其他可用以规定二者之间区别的词）来掌握系统。既然这些模型并不互相排斥，而且同一现象还可以用不同的模型来处理，（例如，"控制论的"或"动力学的"概念，参阅洛克 Locker，1964 年），那么我们不禁要问，哪一种观点是更普遍更基本的呢？一般来说，这是一个应当由作为一般自动机的图灵机来回答的问题。

我们应当考虑的(就我们所知在自动机理论中未曾处理的)正是“巨数”问题。自动机理论的基本命题是,可用有限数目的“词”确定的事件就能够用一台自动机来实现(例如麦克卡洛奇 McCulloch 和皮茨 Pitts 的形式神经网络,或一台图灵机)(冯·诺伊曼,1951 年)。问题在于如何理解“有限的”这个定语、按定义,自动机能实现有限的事件系列(不管多么大),而不能实现无限的事件系列。然而当所需的步骤数目虽不是无限的但却是“巨数”的时候又怎么样呢?比如说,超过了宇宙间的粒子数(估计其数量级为 10^{80})或超过了在宇宙或它的一些亚系统的时间延续中可能有的事件数(按 1966 年埃尔萨瑟 Elsasser 的估计,这个数目的对数是一个很大的数)。这类巨数出现在许多具有指数函数、阶乘函数和其他高速累进函数的系统问题中。即使在含有中等数目的组分都具有强大的(不可忽略的)相互作用的系统中也会遇到这些巨数(参见阿什比 Ashby,1964 年)。为了在图灵机中“绘制”它们,就需要“巨数”长度的带子,也就是不仅超出了实用的限度,而且也超出了物理学的限度。

让我们举一个 N 点有向图这样简单的例子来看一看(拉波波特,1959 年)。在每对点之间可以存在也可以不存在箭头(两种可能性)。因而有 $2^{N(N-1)}$个不同的公式去联结 N 个点。如果 N 是 5,联结方式就超过 -百万种方式点。如果 N—20,联结方式的数目就超过了所估计的宇宙间的原子数。同样的问题也发生在神经元之间可能的联结方式上(在人脑中估计为百亿数量级)和遗传密码中(雷普格 Repge,1962 年)。在密码中有一个 20 个“词”(核苷酸三联体)的最小单元,它能把 20 个氨基酸(实际是 64 个)拼缀起来;这种密码可以有几百万个单元。这就产生了 $20^{1,000,000}$种可能性。假设拉普拉斯要去找出每一种组合的函数值,他就必须作次数同样多的试探,可是宇宙之间一共只有 10^{80}个原子。让我们假定(雷普格,1962 年)在时间的某一点上地球上存在有 10^{30}个细胞。再假

定，每分钟产生一代新细胞，对于150亿年10^{16}分钟）的地球年龄来说，将产生总计为10^{46}个细胞。当然，为得到一个极大值，可以假定有10^{20}个养育生命的星球：于是在整个宇宙中生物肯定不会多于10^{66}个——这是一个很大的数目，但还远不是"巨数"。可以用不同的假设来估算（如可能的蛋白质或酶的数目），结果基本是相同的。

此外，按哈特(Hart，1959年)的意见，人类的发明可以被想象成先前存在的要素的新组合。如果是这样的话，所发明机会的增加大致是可用要素可能的排列与组合数目的函数，这就是说它的增加是要素数目的阶乘积。而且社会变化的加速率本身也在加速；这样一来，在很多情况下，文化变化的加速度将不是对数的，而是重对数。哈特提出的有趣的曲线表明，人类繁殖、武器杀伤面积、估计寿命等的增加，实际上遵循着这样的表达式，即文化增长的速率不是指数的（即复利的），而是在重对数曲线上超加速的。一般情况下，如果系统内的调节不是针对一种或有限数目的干扰，而是针对"任意的"干扰，也就是不可能"预见"到的无限多数目的情况的话，这时自动机的限度就出现了；胚胎调节（例如杜里舒 Driesch 实验）和神经调节（例如拉什莱 Lashley 实验）中就普遍地存在这种情况。这些调节都来自很多组分的相互作用（参阅杰弗里斯 Jeffries 的研究，1951年）。正像冯·诺伊曼本人承认的，这种情况似乎与那种截然不同于技术系统的有机体系统的"自动恢复"倾向有关系；用更现代化的术语来说，就是与其开系统性质有关，这种性质即使在像图灵机这类自动机的抽象模型中也不具备。

因此，就像杜里舒这样的活力论者很久以前强调过的，机械论概念，即使采取了图灵自动机这种现代的一般化的形式，对于有"任意"干扰的调节，以及对于那些其中所需步骤数目在前述意义是"巨数"的事件，似乎都是无能为力的。即使除去与无穷集有联系的悖论，也会出现可实现性的问题。

以上所谈与一般系统论中一个无疑是基本的概念或概念的复合有关：即层次序列(hierarchic order)概念。我们现在要把宇宙"看"作一个庞大的层次系统，从基本粒子到原子核，到原子、分子、高分子、聚合物、到分子与细胞之间的(电子显微镜级与普通显微镜级之间的)大量结构(韦斯 Weiss，1962 年)，到细胞、有机体，直到超个体的组织。层次的一个引人注目的图式是博尔丁图式(表 1.2)还有其它图式。在"结构"和"功能"中都可看到类似的层次系统。归根结底，结构(即部分的秩序)和功能(过程的秩序)完全是一回事：在物理世界中物质分解为能量的活动，而在生物世界里结构就是过程流的表现。在目前，物理定律的系统主要是与原子和分子之间的领域(以及宏观物理学中它们的总和)有关，这显然只是广阔得多的范围中的一小部分。组织以及组织力的规律在亚原子和超分子领域内所知甚不完全。人类已在突人亚原子世界(高能物理)和超分子世界(高分子化合物物理)，但这些工作显然尚在开始阶段。因为目前人们对基本粒子的知识还很含混，对于电子显微镜下看到的结构也缺乏物理解释，而且还没找到遗传密码的"语法"等等。

层次序列的一般理论显然是一般系统论的主要支柱。层次的原理可以用普通语言来陈述(科斯特勒 Koestler，1967 年)；也可借助矩阵理论的半数学式的思想来表述(西蒙，1965 年)，又可用数理逻辑来表述(伍德格 Woodger，1930—1931 年)。在图论中层次序列由"树形"表示，层次系统中关系方面的问题就可用这一方式表述。但是问题实际上要深广得多，层次序列的问题与分化、进化和组织量度等方面都有密切联系，它们似乎不能借助热力学(负熵)或信息论(比特)来适当地表示(参见本书第 93 页)。最后如我们所谈过的，层次序列和动力学可能非常一致，这一点科斯特勒在他的"树与蜡烛"的妙喻中已经谈到了。

于是我们看到存在着一系列具有某种进步程度和精细性的系

统模型。一般系统论的某些概念、模型与原则，如层次序列，渐进分化、反馈、由集合论和图论规定的系统特性等等。可以广泛应用于物质的、心理的和社会文化的系统、其他的概念，如由物质交换来定义开放系统，则局限于某些亚级别。正如应用系统分析的实践所指出的，各种系统模型都将必须按照具体情况和操作标准来应用。

[表 1.2] 系统层次主要阶层非正式一览表

(部分根据保尔丁 1956 年的图式)

阶层	种类和例子	理论和模型
静态结构	原子、分子、晶体、从电子显微镜水平到宏观水平的种种生物结构	例如：化学结构式、晶体学；解剖图谱
时钟机构	时钟，一般常用机器，太阳系	普通物理学，如力学定律(牛顿的和爱因斯坦的)等等
控制机构	恒温装置，伺服机构，有机体自动调节动态平衡机制	控制论：反馈和信息论
开放系统	火焰、细胞和一般机体	(a)物理理论扩展到物质流动过程中自我维持的系统(新陈代谢) (b)遗传密码中的信息储存(DNA)(a)与(b)的联系目前还不清楚
低级有机体	"类似植物的"有机体：系统的渐增分化(所谓有机体中的"分工"；生殖与机能性个体的区别(胚迹与体干)	

阶 层	种类和例子	理论和模型
动物	信息传递的重要性日益增加(感受器的进化,神经系统);学习;意识的开端	自动机理论的开端(S--R关系)、反馈(调节现象)、自主行为(张弛交替)等等
人	符号表示:结果有过去和未来,自我和世界,自我意识等等:语言通信等	初步的符号系统理论
社会文化系统	有机体种群(包括人类);只在人类中才有的符号决定的社会(文化)	人口动力学中的统计学和动力学规律,社会学,经济学,或许还有历史,文化系统论的开端
符号系统	语言、逻辑、数学、科学、艺术、道德等等	符号算法系统(如数学、语法);“游戏规则”,如视觉艺术、音乐规则等

注意,这份一览表里印象主义式的和直观性的,并不自诩有逻辑的严格性。较高的阶层一般以较低的阶层为条件(例如生命现象以物理化学层的现象为条件;社会文化现象以人类活动层为条件等等);但是每一种情况下各层之间的关系都需要阐明(试比较诸如开放系统的问题和作为“生命”显而易见的前提条件的遗传密码的问题;“概念的”系统与“实际的”系统的关系等等)。在这个意义上,这章的一览表暗示了还原论的局限性和实际知识系统中的空白部分。

第二章　一般系统论的含义

一般系统论的探索

现代科学的各个领域，资料数量庞大，方法技巧和理论结构极为复杂，必然使学科愈来愈专门化，这是现代科学的一个显著特征。因此，科学就被分割为无数的学科，不断产生着新的分支学科。结果，物理学家，生物学家，心理学家和社会学家可以说都囿于他们自己的小天地，作茧自缚，很难相互对话。

不过，与此相反，还有另一个值得重视的方面。综观现代科学的发展，我们遇到一个出人意外的现象：在差异极大的一些领域里，都独自地存在着相似的问题和概念。

经典物理学的目标是把自然现象最终分解为基本单元之间受“盲目的”自然规律所支配的某种作用。这可以用拉普拉斯观念来理想地表达：若已知各质点的坐标和动量，就能够预测宇宙在任何时间的状态。当物理学中确定性规律被统计性规律所代替时，这种机械论的观点不但没有改变反而更加强了。根据玻尔兹曼(Boltzmann)对热力学第二定律的推导，物理的事件必然趋向于概率最大值的状态。因此物理学上的规律是“无序的规律”，是没有秩序的和统计的事件的结果。然而，与机械论的观点相反，在现代物理学的许多分支中出现了整体性、动态相互作用和组织性等问题。在海森堡(Heisenberg)关系式和量子物理学中，已经不可能把现象分解为局部的事件；不论是原子结构的问题、蛋白质的构造问题，还是热力学中相互作用的现象，都出现有序性和组织性问题。在机械论看来，生物学的目标同样是把生命现象分解为原子实体和局部

过程。生命有机体被分解成细胞、它的活动被分解成生理过程，最终被分解成物理化学过程；把行为分解成无条件反射和条件反射；把遗传基质分解为基因颗粒，如此等等。与此截然不同，组织性的概念已成为现代生物学的基础。研究孤立的部分和过程是必要的，但是还必须解决一个有决定意义的问题：把孤立的部分和过程统一起来的、由部分间动态相互作用引起的、使部分在整体内的行为不同于在孤立研究时的行为的组织和秩序问题。其次，心理学中也出现了类似的趋势。经典的联想心理学试图把心理现象分解为基本单元（曾称作心理原子），诸如基本感觉等等，而“格式塔”心理学已显示出心理学整体性的存在并占了首要地位；它不是基本单元的相加，而是受动态规律的制约。最后，在社会科学里，把社会看作个人即社会原子的总和的概念，例如经济人模型，已被把社会、经济和民族看作居于各部门之上的整体的趋势所取代。这是指计划经济、民族和国家的神化等重大问题，但也反映出新的思维方法。

在不同领域，在相互独立的和基本上没有任何业务知识联系的研究领域里，一般认识原理平行发展的现象，给人以深刻的印象。

现代科学还有另一个重要方面。迄今为止，精密科学，自然科学的主体，几乎就等于理论物理学。在非物理学领域，阐明精确定律的尝试很少有得到承认的。然而，生物科学、行为科学和社会科学所受到的冲击和它们的进步，似乎有必要扩展我们的概念图式，以便在不能充分或不可能应用物理学的领域中考虑规律的体系。

许多领域正以不同的方式，发生着走向一般化理论的趋势。例如：复杂的生物群体动态理论，即生存竞争和生物平衡理论已有所发展，这些首创性工作是由洛特卡和沃尔特拉（Volterra）开拓的。生物学的观念如个体、物种、竞争系数等等在这个理论中起作用。类似的处理方法还运用于数量经济学和计量经济学。后者的模型和方程式族碰巧与洛特卡的相似，还与化学动力学相似，不过相互

作用的实体和力的模型处于不同层次罢了。还可以举出另外的例子：生命有机体本质上是开放系统，即同外界环境有物质交换的系统。常规物理学和物理化学所涉及的则是封闭系统。只是近些年来，包括不可逆过程、开放系统和非平衡态的理论才有所发展。然而，当我们想应用开放系统的模型去说明如动物生长那样的现象时，我们自然地达到不属于物理学整体而属于生物学整体的理论概括。换句话说，我们要处理的是一般化了的系统。上述情况也适用于控制论和信息论的领域，它们在前几年就已经受到广泛的重视。

因此，存在着适用于一般化的系统或者它的子级模型、原理和定律，这些模型、原理和定律与系统的特殊类别、组成系统的要素的性质以及要素之间的关系或“力”的性质无关。寻找一种不是具有不同程度特殊性的系统的理论，而是一般地适用于系统的普遍原理，看来是合理的。

在这个意义上我们提出一门新的学科称之为**一般系统论**，它的主题是阐述和推导一般地适用于“系统”的各种原理。

这个学科的含义可确定如下。物理学所涉及的系统具有不同层次的一般性。从比较特殊的系统（例如，工程师在建造桥梁或机器时所运用的系统），到物理学各门学科的特殊规律（如力学与光学），到具有很大一般性的规律（如热力学原理）。它适用于不同本质的系统，如机械的、热的、化学的或诸如此类性质的系统。没有规定说，我们必须停留于物理学传统处理的系统。相反，我们可以寻求一般地适用于系统的原理，而不考虑它们究竟是物理的、生物的或社会的性质。只要我们提出这个问题并且恰当地定义系统的概念，就会发现存在着适用于一般化的系统的模型、原理和定律，不考虑它们的特殊类别，不考虑它们的要素以及所包含的“力”的特殊性。

一般系统特性表现为不同领域的结构相似性或同型性。支配

各种行为的原理具有一致性，而其实体在本质上有很大区别。现举一个简单的例子：按指数增长的定律适用于某种细菌细胞，适用于细菌群体，动物群体以及人口的增长，也适用于以遗传学或一般科学出版物的数量来估量的科学研究的进步。在这里，细菌、动物、人类以及书籍等等实体是完全不同的，它们各自的因果机制也是完全不同的。然而，它们的数学定律是相同的。或许只是描述自然界中动物和植物物种竞争的数学方程组是相同的。但是，同样的方程组看来也适用于物理化学的领域，以及经济学的领域。这些一致性是由于如下事实：从某些方面看，上述各种实体可看做"系统"，也就是处于相互作用中的要素的复合体。上述领域以及其他领域与"系统"有关，这个事实导致一般原理的一致性，如所考虑的现象间条件相对应时，甚至它们的特殊定律也有一致性。

事实上，相似的概念、模型和定律经常出现在相去很远的各种领域中，它们都是独立的并以完全不同的事实为基础的领域。有许多这样的事例：重复发现同样的原理。这是因为一个领域的工作者不知道他所需要的理论结构已经在其他某个领域发现了。一般系统论将大大避免不必要的重复劳动。

系统同型性也出现在定量分析难以对付的、但在本质上很重要的问题上。例如：生物系统与"上有机体"(如动物群体、人类社会)之间就具有同型性。哪些原理为一些组织层次所共有，而因此可以合法地从一个层次转移到另一个层次呢?哪些原理是特有的，转移就会导致极为荒谬的结论？社会和文明能看作系统吗？

因此，一般系统论看来是一种有用的工具，一方面，它提供模型，可在不同领域使用并在领域间转移；另一方面，它又防止模型陷入那些常常危害该领域进步的似是而非的类比。

一般系统论还有另一更为重要的方面。著名数学家和信息论的奠基者沃伦·威弗中肯地阐明了它的意义。威弗说，经典物理学在无组织的复杂事物的理论发展上是非常成功的。例如：气体的行

为是无数分子无组织的和难以个别描绘其轨迹的运动结果,它作为一个整体由热力学定律支配。这种无组织的复杂事物的理论最终归结为随机和概率定律以及热力学第二定律。相反,今天的基本问题是有组织的复杂事物。诸如组织、整体性、方向性、目的性和分化等概念都是与传统的物理学相异的。然而它们毕竟在生物科学、行为科学和社会科学中到处冒出来,事实上对于处理生命有机体或者社会的群体都是不可缺少的。因此现代科学提出的一个基本问题是关于组织的一般理论。一般系统论在原则上是能够对那些概念给出确切的定义,在适当的情况下,能够对它们作定量的分析。

我们已经对一般系统论的含义作了简要说明,为了消除某些误解我们还要说明它不是什么。有些反对者说:系统论无非就是一个平凡无奇的事实,即某些门类的数学能够应用于不同种类的问题。例如,指数增长的规律能够用于很不相同的现象,从放射性衰变到人口由于繁殖不足而灭绝。其所以如此,是因为这个公式是最简单的微分方程,所以能够应用于这些完全不同的事物。因此,如果在完全不同的过程中产生所谓同型的增长定律,并没有多大意义,就像初等算术可应用于所有可数的对象一样,2 加 2 等于 4,而不必考虑计算的对象是苹果、原子还是星系。

对于这个问题回答如下:不仅在简单举例说明中,而且在系统理论的发展中,问题并不是运用了众所周知的数学表达式。相反,所提出的问题是新颖的,有一部分还远远没有解决。如上所述,经典科学的方法很适用于能够分解为孤立的因果链的现象,也很适用于"无限"数目随机过程的统计结果等现象,如适用于统计力学,热力学第二定律以及所有由它产生的定律。但是,在大量的却有限的要素和过程的相互作用的情况下,经典的思维模式是失败的。这里提出的问题受到像整体、组织等诸如此类的概念的约束,而且需要新的数学思维方式。

另一种反对意见则强调，由于无意义的类比，一般系统论有被断送的危险。这种危险确实存在。例如有一个流传很广的说法，将国家或民族看作超级有机体。但是，那样的理论会构成一个极权主义国家的根据，其中个人就像有机体中无价值的细胞，或者像蜂群中一只不重要的工蜂。

但是，一般系统理论并不追求模糊的和表面的类比。这样的类比价值不大，因为除了现象之间的相似外，也常常能够找到不相似。这里所讨论的同型性不仅仅是类比。它来自这样的事实：同样的抽象物和概念模型能够在某些方面表示不同的现象。系统定律是仅就这些方面来应用的。它与科学的一般处理方法没有什么不同。这与万有引力定律应用于牛顿的苹果、应用于行星系、应用于潮汐现象是同样的情况。这意味着在某些限定的方面，一个理论系统如力学的理论系统是适用的，但并不意味着苹果、行星和海洋在其它许许多多方面具有特殊的相似之处。

第三种反对意见声称，系统理论缺乏解释的力量。例如，有机体的目的性方面，如所谓发展过程的异因同果性，还缺乏系统理论上的解释。可是，今天也还没有人能够详细地解释动物的一个卵子发育为含有无数细胞和器官具有高度复杂功能的有机体的过程。

这里，我们应考虑到科学解释有一定的限度，考虑到在复杂和理论不大发展的领域中，我们不得不满足于经济学家海克(Hayek)恰当地称呼的“原则性的说明”。一个例子就可以说明它的意思。

理论经济学是一个高度发展的体系，对该过程提供精致的模型。但是经济学教授通常不是百万富翁。换句话说，他们能够“在原则上”很好地说明经济现象，却不能预言股票市场上某种股票某天的涨落。然而，原则性的说明比什么都不能说明要好一些。一旦我们能够引入必需的参数，系统理论上的“在原则上”的说明就会变成类似于物理学结构的理论。

一般系统论的宗旨

现在，我们可以把上面所考虑的那些问题概括如下：

现代科学的各种不同的学科，已逐渐形成相似的一般概念和一般观点。在过去，科学试图解释一种可观察的现象，就要把它归结为可以逐个独立地考察的基本单元的相互关系。而在现代科学中出现的概念则涉及多少有点模糊地称为“整体”的那个东西，即组织。现象不能分解为局部的事件，动态相互作用使处于较高级构形中的部分表现出不同于它们在各自孤立时的行为等问题。简而言之，考察各自孤立的部分，是不能理解各级“系统”的。这种性质的概念和问题已出现在科学的所有分支中，不论它们的研究对象是非生物、生命有机体还是社会现象。这种一致性尤为惊人，因为个别学科的发展是相互独立的，相互之间很不了解的，是建立在不同的事实和相互矛盾的基础上的。这意味着科学态势上和概念上的一个普遍变化。

不仅是不同学科在一般方面和观点上相似，而且往往在不同的领域里可以发现形式上相同的定律即同型的定律。在许多情况下，同型的定律适用于某些级种类或亚类的“系统”，而不考虑有关实体的性质。这表明一般系统定律是存在的，这些定律可用于一定类型的任何系统，而不考虑系统的特殊性质和各个元素的特性。

这些见解导致我们称为一般系统论的新学科的提出。它的主题是阐述对于“系统”普遍有效的原理，而不管其组成要素的性质及它们之间的关系或“力”是什么。

因此，一般系统论是关于“整体”的一般科学；在此之前整体被人们看作是一个不明确的、模糊的和半形而上学的概念。一般系统理论的精致形态可以说是一门数理逻辑学科，它以自己的纯粹的形式适用于各种经验科学。它对于同“有组织的整体”有关的学科

的意义，可以说类同于概率论对于同“随机事件”有关的学科的意义。概率论也是一门形式上的数学学科，它能够应用于许多不同的领域，例如，热力学、生物学和药物试验、遗传学、人寿保险和统计学等等。

一般系统论的主旨是：

(1) 各种不同的学科，包括自然科学和社会科学，有着走向综合的普遍趋势。

(2) 这样的综合看来要以系统的一般理论为中心。

(3) 这样的理论可能成为非物理领域的科学面向精确理论的一种重要方法。

(4) 这一理论通过寻找出能统一“纵向地”贯穿于各个单个科学的共性的原理，可使我们更接近于科学大统一的目标。

(5) 这一理论能够导致迫切需要的综合科学教育。

看来在这里谈一下这个理论的界限是适宜的。作者在许多年以前已经提出了一般系统理论这个术语和大纲。然而，各个不同领域的大量工作者也曾得出了相似的结论和探讨的方法。因此，建议维护这个名称，它现在已作为一个方便的符号而通用。

乍看起来，如果把系统定义为“处于相互作用中的各要素的集合”，那就太一般和太不明确了，不能由此得到更多的知识。这样的看法其实是不对的。例如：系统可用一定的微分方程组来定义，并且，用通常的数学推理，引入特定的条件，可以找到系统在一般情况下或特殊情况下的许多重要的特性(参看第三章)。

一般系统论中所用的数学方法不是唯一可能的方法，也不是最普遍的方法。当代有大量与此有关的方法。例如：信息论、控制论、对策论、决策论和网络理论、库存论模型、运筹学。以上所举的仅仅是最重要的一部分。微分方程适用于宽广的领域，诸如物理学、生物学、经济学也许还有行为科学，并且沟通了这些学科与一般系统论的通道。

下面我准备用一些例子去阐明一般系统论。

封闭系统与开放系统:传统物理学的局限性

第一个例子是封闭系统和开放系统。传统物理学只处理封闭系统,即只考虑与外界隔绝的孤立系统。因此物理化学告诉我们,化学反应、反应的速率和最后建立化学平衡,总是在一个装有一定数量的反应物的封闭容器里进行的。热力学明确地宣布它的定律只适用于封闭的系统。特别是热力学第二定律,它说明封闭系统的某个叫做熵的量,必定要增长到最大值,到这个过程的最后达到平衡状态而停止。第二定律可以用不同的方式表达:一种是把熵作为概率的一个量度。因此,一个封闭系统趋向于最大的概率分布。由红玻璃球和蓝玻璃球或者由具有不同速度的分子所组成的混合物的最大概率分布是处于完全无序的状态。要使所有的红球在一边,所有的蓝球在另一边,或者在一个封闭的空间,所有的快速高温分子在右边,低温慢速分子在左边,这种状态几乎是完全不可能的事情。因此趋向于最大的熵值,或趋向于最大概率分布,就是趋向于最无序状态。

可是,我们发现系统从它们的真实性质和定义来看,不是封闭系统。每一个生命有机体本质上是一个开放系统。它在连续不断的流入与流出之中,在其组分的不断的构成与破坏之中维持自己,只要它是有生命的,它就永远不会处于化学的和热力学的平衡状态,而是维持在与平衡状态不同的所谓稳态上。这是通常所说的新陈代谢这个基本生命现象的真正本质,是活的细胞内部化学过程的真正本质。这是怎么回事呢?显然,传统的物理学公式,原则上不适用于作为开放系统和稳态的生命有机体,而且我们可以猜测到生命系统许多从物理学定律看来是荒谬的特征,是上述事实的结果。

只是在近几年，物理学才扩展到能把开放系统包括进来。这个理论已弄明白物理学和生物学中许多糊涂的现象，并已得出一些重要的一般结论。这里我只举出两点。

第一是异因同果性原理。任何封闭系统其最终状态毫不含糊地由初始条件所决定。例如，在行星系统的运动中，行星在 t 时的位置毫不含糊地由它在 t_0 时的位置所决定。又如在一个化学平衡态中，反应物最终的浓度当然取决于初始浓度。如果初始条件或过程改变了，那么最终状态也将改变。开放系统则不然。在那里，从不同的初始条件和经过不同的途径可以达到相同的最终状态。这就是所谓异因同果性。这个原理对于生物调节现象有重要意义。熟悉生物学史的人会记得德国生物学家杜里舒正是根据异因同果性而接受了活力论，即不能根据自然科学来解释活力现象的学说。杜里舒的理论是以胚胎早期发育的实验为根据的。从一个完整的卵，从切成两半的卵，从两个融合为一个的卵，都可以发育成一个正常的海胆个体；可见最终结果是一样的。这同样适用于许多其它物种的胚胎，包括人在内，双胞胎就是由一个卵子分裂发育而成的。按照杜里舒的观点，异因同果性是与物理学定律相矛盾的，只有靠一种类似灵魂的活力因子才能达到。正是这种活力因子支配着预见目的过程，使正常的有机体得以形成。然而，可以证明，开放系统只要达到稳态就必定表现出异因同果性，这样，违反物理学规律的说法就排除了。

无生命界与有生命界的另一明显的不同是所谓凯尔文勋爵(Lord Kelvin)的退化论与达尔文的进化论之间，物理学的耗散定律与生物学进化规律之间的尖锐对立。按照热力学第二定律，在物理性质的事件中普遍趋向最无序的状态而使差别拉平，宇宙随之达到所谓最终的热寂状态。那时所有能量递降为低温下均匀分布的热，世界的进程就会停止。与此相反，生命世界显示出：在胚胎发育和生物进化中，它是向更高级的有序状态、不均匀状态和有组织

状态过渡。但是,根据开放系统的理论,熵与进化之间的明显矛盾就消失。在所有不可逆过程中,熵必定增加。因此,在封闭系统里,熵的变化只是取正值,秩序不断被破坏。但在开放系统中,不仅由于不可逆过程而产生熵,而且也可能输入负熵。生命有机就是这样的实例,它输入具有高度自由能的复杂分子。生命系统就能够避免熵的增加,以维持自身的稳定状态,而且还可能向有序性和组织性更高的状态发展。

从这些例子中,你可能猜到开放系统理论的意义。除了别的以外,它还表明在生命界中许多被认为违反物理定律的事情,实际上并非如此,或者说这些违反会随物理学理论的一般化而消失,从一般化来说,开放系统的概念能够应用于非物理学的层次。例如用于生态学和进化论使它们走向高度公式化(威塔克 Whittacker),用于心理学而把"神经学系统"看作"动态开放系统"(克雷奇 Krech),用于哲学使其趋向于与"自我作用"相反的"交互作用"和"相互作用"的观点,贴切地符合于开放系统模型(本特莱 Bentley)。

信息和熵

与系统理论紧密联系的另一发展领域是现代通讯理论。正如经济价值能够用美元和英镑表示一样,人们经常把"能量"看作是物理学中的货币。可是,物理学和技术的某些领域并不乐意接受这种货币。通讯领域就是这样,由于电话、无线电、雷达、计算器、伺服机构和其它设备的发展,已经促使物理学的一个新的分支诞生。

通讯理论中的一般概念是信息。在许多情况下,信息流与能量流相符,例如某种物体发射的光波到达眼睛或光电管,引起了有机体或某些机械的反应,从而传递了信息。可是也很容易举出一些事例,其中信息流与能量流是相反的,或者没有能量流或物质流,却

传递了信息。第一种情况如电信电缆，其中直流电只能单向流动，但信息如电报却能双向传递，只要在一端中断电流而在另一端记录这种中断即可。第二种情况，例如安装在许多超级市场的光电启门装置，每当遮住光线切断光能，就给光电管一个有人进来的信息，门就打开了。一般地说，这样的信息就不能用能量这一术语来表达。

然而，有另一种方法来度量信息，即用决策论的方法。在玩一种"二十个问题"的游戏时，我们约定对于我们提出的每个问题只得到"是"或"否"简单的回答，以此来找出一个谜底。在一个回答中所传递的信息就是两者定一，如：是动物或不是动物。对于两个问题，就是在四个可能性中确定了一个，如哺乳动物非哺乳动物，或开花植物—不开花植物。收到三个回答，则是在八人可能性中确定了一个，等等。所以，决策可能性以 2 为底的对数可作为信息量大小的量度。这个单位称作二进制单位或比特(bit)。在两个回答中所包含的信息量是 $\log_2 4=2$ 比特，三个回答是 $\log_2 8=3$ 比特等等。这种信息的量度恰巧与熵相似，确切地说与负熵相似，因为熵也被定义为概率的对数。但我们过去所熟悉的熵是无序的量度，而负熵或信息则是有序和组织的量度，因为后者与随机分布相比是一种不可几的状态。

通讯和控制理论第二个主要概念是反馈。下面是反馈的简单图式(图 2.1)。首先这个系统包括一个接收器或者"感官"，它可以是光电管，雷大荧光屏，温度计，或生物意义上的感官。从技术设备的角度看，消息可以是一个弱电流，对生命有机体来说，相当于神经传导。还有一个中枢把输入的信息重新加以组合并输送到效应器。这可以是电动机，加热丝圈或螺线管之类的机械，也可以是肌肉，它们对于输入消息的反应是输出高能量的动力。最后，效应器的运行状况被监控并送回到接收器，这就形成了一个自我调节的系统，即保证活动的方向性和稳定性。

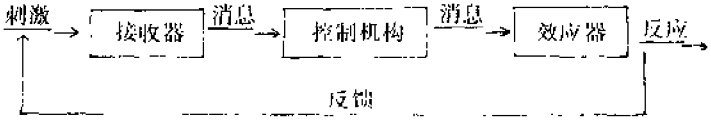


图 2.1 简单反馈图

反馈装置在现代技术中得到广泛的应用，它使某种活动稳定化，如用于恒温器或无线电接收机中，或者使活动的方向针对一个目标，有了偏差就作为信息反馈，直至抵达目标或靶子，如跟踪某个靶子的自推进导弹、防空火炮控制系统、船舶驾驶系统和其他所谓伺服机构等就是这种情况。

现实中确实存在与反馈模型相一致的生物现象。首先是所谓自动动态平衡现象，即生命有机体里平衡的维持，典型的是温血动物的体温调节。当变凉的血液刺激大脑的某个中枢，它就"接通"人体内产热机构，体温情况又受监控返回中枢，使体温保持在恒定的水平上。类似的动态平衡还有维持人体内大量物理化学变量恒定的机制。此外，存在于动物和人体中起调节作用的反馈系统可以比作技术中的伺服机构。如果我们想拿起一支铅笔，中枢神经系统收到关于距离的报告，我们第一下没有拿到铅笔，那么这个信息反馈到中枢神经系统以控制我们的动作，直至达到目的。

技术领域和生命界各种不同系统大量地存在这种反馈图式。众所周知，由诺伯特·维纳(Norbert Wiener)提供的一种叫做控制论(Cybernetics)的新学说就是用来处理这类现象的。这一理论试图说明，人造机器以及生命有机体和社会系统中的目的论或有目的的行为都是以反馈性质的机制为基础的。

然而，必须记住，反馈图式是一种性质相当特殊的图式。它以上述类型的结构上的安排为先决条件。然而，生命有机体的很多调节在本质上有着不同的性质，例如指令是通过过程中动态相互作用而奏效的。回忆一下前面提到的例子，胚胎的调节使部分在异因

同果性过程中重建为整体。这能够说明，有机系统的初级调节，即胚胎发育以及个体演化最基本、最原始的调节具有动态相互作用的性质。这些性质是以生命有机体是一个开放系统为事实根据的，它把自身维持于或者趋近于稳态。至于那些迭加的调节我们称之为二级调节，它是由固定的布局，特别是反馈型的布局控制的。

这种事态是可以称作渐进机构化的一般组织原理的结果。首先，生物的、神经的、心理的或社会的系统受它们组分间动态相互作用的支配；然后，建立起固定的布局和约束条件使得系统及其部分变得更有效率，但也逐步地缩小甚至最后取消它的等可能性(equipotentiarity)。因此动态相互作用的面要宽一些，因为我们常能引入适当的约束条件，从一般系统定律中得出类似于机器的功能，但反过来则是不可能的。

因果性和目的论

我想要提出的另一点是过去几十年中科学的世界图景所经历的变化。诞生于19世纪的经典物理学的机械论世界观认为：那些受因果性铁的规律支配的无目标的原子运动产生世界上所有的现象，这对无生命的、有生命的和心理的现象都适用。它没有给方向性、有序性和目的留下任何余地。有机世界是随机的产物，是在无意识的随机突变和选择的过程中积累起来的；而心理世界则是物质事件的一种难以理解和相当不合逻辑的偶发现象。

过去科学的唯一目标似乎是进行分析，把实际存在的事物分割成一个个尽量小的单元和孤立的单个因果链。因此物理实体被分割成大量的质点或原子，生命有机体被分割成细胞，行为被分割成反射，知觉被分割成点状的感觉，如此等等。与此相对应，因果关系基本上是单向的：在牛顿力学里一个太阳吸引一个行星，受精卵中一个遗传基因产生这样的或那样的遗传特征，一种细菌引起这

种或那种疾病，精神元素像一串珍珠中的珠子，由联想律串连起来。这使人想起康德企图把经典科学的基本概念加以系统化的著名的范畴表，这是很有代表性的，相互作用和组织的概念仅仅是填补空白或根本就没有表现出来。

我们可以从现代科学的物征来证明，那种单向因果联系起作用的孤立单元的图式已经不适用了。因为在科学的所有领域中出现了像整体性、整体论、组织性、格式塔等那样的概念。这些概念都指明我们归根到底必须按照相互作用的元素所组成的系统这个概念来思考。同样，目的论和方向性的概念过去似乎在科学的范围以外，似乎是神秘的超自然的或拟人的力量活动场所。要不然，就是本质上与科学相异的伪课题，只不过把观察者的思想错误地投影到受无目的的规律所支配的自然界中去。尽管如此，这些方面的概念仍是存在的；如果不考虑有多种不大严格叫法的适应性、目的性、目标跟踪之类的概念，那么就不能想象生命有机体，更不用说行为和人类社会了。

我们的观点的特色是把这些方面严肃地看作合法的科学课题；此外，我们完全可以指明模拟这些行为的模型。

我们已经提到过两种这样的模型。一种是异因同果性，即从不同的初始状态出发，通过不同的途径趋向于一个特定的最终状态，这里以走向稳态的开放系统中动态相互作用为基础的。第二种是反馈，把自动动态平衡维持在一个特定的状态或者跟踪一个目标，这是以循环的因果链和把偏离于所要维持的状态或所要达到的目标的信息监控回授的机制为基础的。第三种是适应性行为的模型。阿什比曾提出一种“脑的设计”，他所使用的作为一般系统出发点的数学定义和方程式恰好是本书作者所使用的。两位作者各自独立地推导出他们的体系，由于志趣不同分别得出了不同的定理和结论。阿什比的适应性模型粗略地说就是将一个系统定义为阶梯函数，这种函数在超过一定的临界值以后，就跃入一组新的微分方

程。这就是说，越过临界状态，系统就进入新的行为方式。因此，依靠阶梯函数，系统表现生物学称为试错法的适应行为，即通过不同的方式和方法进行尝试，最后稳定在不再与环境临界值相抵触的范围内。一个通过试错法而使自己适应环境的系统，实际上是阿什比设计构想的一台叫作同态调节器的电磁机器。

我不打算讨论这些目的性和方向性行为模型的优点和缺点。所要强调的是，直接趋向于一个特定的最终状态和目标的目的性行为并没有超出自然科学限度，也不是把本来无方向的和偶然的过程加以拟人化。相反它是在科学用语中完全能够定义的一种行为方式，并且能够指出这种行为方式的必要条件和可能的机制。

什么是组织

类似的考虑也适用于组织的概念。组织的概念也是与机械论世界观格格不入的。这个问题在经典物理学、力学、电动力学等学科中没有出现过。甚至热力学第二定律也指出秩序的破坏是事件的一般方向。这确实是现代物理学中的异常情况。怀特海从未忘记去强调，一个原子、一个晶体、一个分子都是组织。在生物中，有机体被定义为有组织的东西。从生物化学到细胞学、组织学和解剖学，虽然我们拥有大量的有关生物组织的资料，但是，我们却没有生物组织的理论，即没有一种能说明经验事实的概念模型。

无论是生命有机体还是社会，组织概念的特征类似于整体、生长、分化、层次、支配、控制、竞争等概念。这些概念在传统物理学中是没有的。而系统理论则完全可以处理这些课题。在系统论的数学模型内定义这些概念是可能的；而且，在某些方面能够得出详尽的理论，这种理论可以从一般的假定推导出特殊的事例。生物平衡的周期性活动理论就是一个很好的例证，这种理论是由洛特卡、沃尔特拉、高斯(Gause)和其他一些人首先提出的。事实说明沃尔特

拉的生物学理论和数量经济学理论在许多方面都是同型的。

但是，对组织的各个方面进行定量的解释是困难的。这种困难在自然科学领域是众所周知的。因此，生物平衡和自然选择的理论都是数学生物学中高度发展的领域，没有人怀疑它们是合法的，本质上是正确的，是生态学和进化论的重要组成部分。但是在它们的领域中实际应用这些理论也是困难的，因为所选用的参数如选择值、消亡和繁殖的比率等等，很不容易测定。这样，我们不得不满足"原则上的说明"，然而一个定性的论点也可能得出有意义的结论。

把一般系统论应用于人类社会的例子，可以举出博尔丁最近出版的一本题为《组织的革命》的著作。博尔丁提出了组织的一般模型，并且声明他所谓的"铁的规律"适用于任何组织。例如，马尔萨斯人口规律，就是铁的规律。这个规律说明在一般情况下人口数量的增长要比资源的增长快得多。于是就存在关于组织的最佳规模的规律：一个组织长大了，联络的途径也长了，这个取决于组织性质的因素起着限制作用，不允许组织的生长超出一定的临界规模。依照不稳定规律，很多组织不是处在一个稳定的平衡态，而是表现出周期的波动，这种波动起因于子系统相互作用。这碰巧有可能用沃尔特拉理论来处理。沃尔特拉的所谓第一定律是指两个物种群体的个体总数的周期循环，其中一个种群是靠食用另一种群的个体而生存的。"寡头"规律是一重要规律，它表明，如果存在着组织间的竞争，那么组织之间关系的不稳定性以及摩擦冲突的危险随这些组织数目的减少而增大。因此，只要每个组织相对地小而组织的数目多，它们就还可以通过某种共存的方式混日子；但是如果仅仅留下很少的或一对竞争对手，就像今天的庞大的政治集团那种情况，冲突会变成劫掠进而达到互相毁灭的程度。许多关于组织的一般定理是很容易被扩展的。完全能够用数学的方法把它们建立起来，如同在某些方面有效地做过那样。

一般系统论和科学的统一

让我们再对跨学科理论的一般含义说几句话来结束上述评论。

一般系统论的综合功能或许可以概括如下。科学的统一，迄今还被看作是所有的学科还原为物理学，所有现象最后分解为物理事件。我们的观点使科学的统一更加现实一些。世界统一性的概念应以不同领域的同型规律为依据，而不能把所有层次的实在最后都还原为物理层次做为依据，那是一种无效的和牵强附会的愿望。从曾经称之为"形式上的"模式来说，即从科学的概念结构来看，这意味着我们要运用图式的结构一致性。用"物质的"语言来说，这意味着这个世界即可观察事件的总和，表现出结构一致性，这种一致性通过各个不同层次或不同领域中秩序的同型性迹象而显露出来。

这样，我们就得到一个与还原论完全相反的概念。我们可以称之为"透视论"(Perspectivism)。我们不能把生物、行为和社会各层次还原为最低的层次，即物理构想和物理定律。但是，我们能够找出在各个个别层次内的构想和定律。正如阿尔多斯·赫胥黎所指出的：世界像一块分层花色冰砖，它有几层，巧克力、草莓、香草精分别代表物理领域、生物领域和社会精神领域。我们不能把草莓还原为巧克力，至多我们只能这样说，也许归根结底所有一切都是香草精，所有一切都是思想或精神。把世界统一起来的原理使我们发现在所有层次上都存在着组织。机械论世界观把物质粒子活动当作最高实在，它在崇尚物质技术的文明中表现出来，终于给我们的时代带来巨大的灾难。也许把世界看作庞大组织的模型会有助于增强生命的尊严感，这种尊严感在最近几十年血腥的人类历史中几乎已丧失殆尽。

教育方面的一般系统论:科学通才的培养

在简要地阐述一般系统论的含义和宗旨之后,我试图回答这样一个问题,即一般系统论可以对综合教育做出什么贡献。我将作少量的引证,这并不是为了结党立派,因为这些作者都不是从事一般系统论研究的人。

几年以前,工程师博德(Bode)、社会学家莫斯特勒(Mosteller)、数学家蒂尤基(Tukey)和生物学家温瑟(Winsor)等人发表了题为"科学通才教育"的论文。作者们强调:"需要一种比较简单的、比较统一的解决科学问题的方法。"他们写道:"我们经常听到这样的议论:一个人再也对付不了宽广的领域,专业太窄了……。我们需要一种比较简单的、比较统一的解决科学问题的方法。我们需要实行科学(不是一门特殊学科)的人,总而言之,我们需要科学通才。"(博德等人,1949年)

然后,作者们说明了在物理化学、生物物理学这样一类领域里以及把物理学、化学和数学应用于医学中需要通才的情况和原因。作者们指出:"任何一个研究团体都需要通才,无论它是一个大学里设立的研究组织还是一个基金会、或是一个工业团体的研究机构……。在一个工程技术团体里,通才能够很自然地关心系统问题,每当把部分纳入平衡的整体,就发生这些问题。"(博德等人,1949年)

在一次综合教育基金的座谈会上(1951年),马瑟(Mather)教授曾提过"普通教育的综合研究"。他认为:"根据下列事实对普通教育提出批评:这种教育很容易退化为只是介绍最近一学期或一年内各个领域所搜集的情报……。假如你与三四个高年级的学生谈话,你就会听到他们中有人说:'我们的教授已经把我们填得满满地,但是,所有这些东西有什么意义呢?'……非常重要的是要对

基本概念和根本原理进行探讨，这样可以有效地把一堆知识融会贯通。”

在回答什么可以算作基本概念时，马瑟认为：“由于研究人员在非常不同的领域从事工作，他们都各自独立地研究出非常类似的一般原理，而这些一致性完全是以不同的事实为基础的，因而更加有意义。这些原理大多是在研究者并不知他人的工作的情况下研究出来的。他们搞的是互不相关的学科基本原理，得到的却仍然是明显相似的结论……[马瑟的结论是]综合教育将是探求对实在的理解所不可缺少的部分。”

看来没有必要再作说明了。物理学、生物学或社会科学的传统教育都是把它们作为独立的领域来处理，普遍地趋向于愈来愈小的子领域成为独立的学科，这个过程一再重复，到了每门专业成为无足轻重的、支离破碎的子领域的程度。与此相反，训练“科学的通才”和发展跨学科的“基本原理”的要求恰恰是一般系统理论所力图去满足的。它不是一个方案，也不是一个虔诚的愿望，因为我们已揭示过，这样的理论结构已在发展过程中。在这种意义上，一般系统论看来是走向跨学科的综合和综合教育的重要途径。

科学和社会

然而，当我们谈到教育，我们指的不单单是它的科学价值即事实的交流和综合，我们也指它的伦理价值即对人格发展的贡献。从我们已讨论过的观点中能够获得这些东西吗？这就引出一个根本问题：科学的价值问题，或特殊地说，行为科学和社会科学的价值问题。

科学的价值以及它对社会和人类的影响的一个常用的论点是这样的：

我们有关物理学定律的知识是非常杰出的，因此，我们的技术

对于无生命界的支配作用几乎是无限的。我们有关生物学的知识还不那么先进，但已充分地考虑到现代医学中和应用生物学中的大量的生物技术问题。人类的估计寿命已大大超过前几个世纪甚至最近几十年。农业、畜牧业等运用现代科学方法，产品足以供养大大超过我们星球上的现有人口。然而缺少的是关于人类社会规律的知识，因此也缺少社会技术的知识。物理学的成就常常用于非常有效的破坏。在世界的很大一部分地区出现饥荒时，在另一些地方收获的粮食却在腐烂或者被毁掉；战争不加区别地毁灭人类生命。文明和谋生手段成了摆脱失去控制的增殖力和由此带来的人口超量增长的唯一出路。这些事实只能得出这样的结论：我们在通晓和控制物理力量方面是非常出色的，对生物的控制量还算令人满意，对社会的控制力量却完全不行。因此，具有成熟的关于人类社会的科学和相应的技术，才将是我们当代世界摆脱所面临的破坏和混乱的一条出路。

这看来是十足的想入非非的议论。事实上只是一条柏拉图格言的现代翻版：若统治者皆为哲学家，人类将获救。然而，这个论点里面有蹊跷。我们要有一个关于科学地控制世界将如何如何的合理思想。在最好的情况下，它将像阿尔多斯·赫胥黎的《华丽的新世界》所写的，或者在最坏的情况下，像奥韦尔的《一九八四年》所写的那样。实际经验告诉我们，科学的成就用于破坏和用于建设同样的多，甚至前者更多。人类行为科学和社会科学也不例外。事实上，迄今为止，令人惊恐的、存在于物理技术、生物技术乃至心理技术中的现代极权主义制度也许是最大的危险。大量暗示的方法，释放人的动物本能的方法，条件反射和思想控制的方法，都已发挥了很高的功效。正由于现代极权主义科学极其骇人，才使得以前专制主义看起来形同儿戏，显得比较无害。社会的科学控制决不是通向乌托邦的康庄大道。

最高格言:人是个体

然而,我们可以用多少有点不同而且比较朴实的方式来设想人类社会及其规律的科学理解。这样的知识不仅能够告诉我们人类行为和社会同其他组织的共同之处,而且也能够告诉我们人类行为和社会的独特之处。这里的主要原则是:人不仅仅是政治动物;他首先是个体,这是高于一切的。人性的真正价值不等于生物实体的价值、有机体功能的价值或者动物群落的价值,而是由个人思想发生的价值。人类社会不是蚂蚁或白蚁群落,被遗传本能所支配,受超级整体规律的控制。人类社会是以个体的成就为基础的;如果个体成为社会机器上的一个齿轮,社会就要毁灭。我认为组织理论所给出的最高格言只能是:不要给任何派别的独裁者以指南使他们能科学地利用"铁的规律"去更有效地征服人类,而要警告他们,极权主义的组织怪兽要是吞没了个体就必定自判死刑。

第三章　系统的若干概念及其初步的数学描述

系统概念

对于“要素”的复合体，可有三种不同的区分方式：(1) 按照要素的数目来区分；(2) 按照要素的种类来区分；(3) 按照要素的关系来区分。下面的简单图示可以清楚地说明这个论点(图 3.1)。图中 *a* 和 *b* 表示不同的复合体。

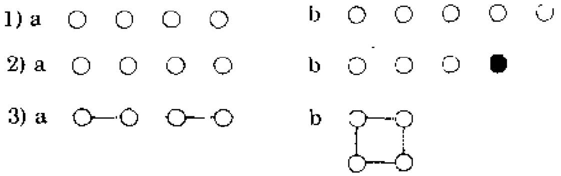


图 3.1

在(1)和(2)两种情况下，复合体可理解为各个孤立要素的总和。在(3)这种情况下，就不仅要知道各个要素，而且还要知道它们之间的关系。前一类可称作累加性(Summative)特征，而后一类则可称作组合性(Constitutive)特征。我们也可以这样说，一个元素的累加性特征就是不论处在复合体内部或者处在复合体外部都一样的那些特征，因而，只要把要素在孤立状态中已知的特征和行为累加起来就可以得出。组合性特征就是依赖于复合体内部特定关

系的那些特征，因此，我们不仅必须知道部分，而且还必须知道关系，才能理解这样的特征。

例如，第一种类型的物理特征有重量和分子量（分别是重量的总和及原子量的总和）、热（看作分子运动的总和）等等。第二种类型的一个例子是化学特征（如同分异构体，分子总的成分相同但原子基团的排列不同而特征各异）。

“整体大于部分之和”，这句话多少有点神秘，其实它的含义不过是组合性特征不能用孤立部分的特征来解释。因此，复合体的特征与其要素相比似乎是“新加的”或“突现的”。然而，如果我们知道了一个系统所包含的所有组成部分以及它们之间的各种关系，那么就可能从组成部分的行为推导出这个系统的行为。我们也可以这样说，如果我们可以把总和想像为逐渐构成的，那么必须把作为部分及其相互关系总体的系统想像为瞬间构成的。

这些陈述确确实实是很平常的，只是由于机械论观念的曲解，由于忽视了相互关系，倾向于把现象分解为单独的要素和因果链，才使得这些陈述成了问题，并导致生物学、心理学和社会学中的概念混乱。

一般系统论精确地展开，就会具有公理的性质。这就是说，从“系统”的概念和一组合适的公理命题就能推导出系统的特性和原理。下面是最起码的描述，仅仅用简单的、直观上可以理解的公式来说明系统的一些原理，而并不追求数学上的精确性和普遍性。

系统可以定义为相互作用着的若干要素的复合体。相互作用指的是：若干要素（p），处于若干关系（R）中，以致一个要素 p 在 R 中的行为不同于它在另一关系 R' 中的行为。如果要素的行为在 R 和 R' 中并无差异，那么就不存在相互作用，要素的行为就不依赖于 R 和 R'。

系统可以用各种不同的数学方法去定义。我们选取一组联立微分方程式作为例子来说明。Q_i 表示要素（$p_i = 1, 2, \cdots\cdots n$）的某

个量。对于有限数目的要素，处于最简单的情况，就有如下形式：

$$\left.\begin{aligned} \frac{dQ_1}{dt} &= f_1(Q_1, Q_2, \cdots\cdots Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2(Q_1, Q_2, \cdots\cdots Q_n) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{dQ_n}{dt} &= f_n(Q_1, Q_2, \cdots\cdots Q_n) \end{aligned}\right\} \qquad (3.1)$$

因而、任何一个量 Q_i 的变化，是所有 Q(从 Q_1 到 Q_n)的函数；反之，任一 Q_i 的变化，承担着所有其他量以及整个方程组的变化。

这一类方程组可以在许多领域中找到，体现动力学的一般原理。例如，在斯克雷博尔(Skrabal)开创的同时性动力学(Simultankinetik)(1944，1949 年)中，这个方程组是质量作用定律的一般表达式。洛特卡(1925 年)广义地应用了同样的方程组，特别是用于人口统计学方面的课题。由沃尔特拉、洛特卡、德安科纳(D'Ancona)、高斯以及其他人创造起来的生物群落系统(biocoenotic systems)方程是 3.1 方程的特例。这样的方程还由斯皮吉尔曼(Spiegelman)(1945 年)用于细胞过程动力学和生物有机体内的竞争理论。沃纳(G. Werner)(1947 年)用了一个相似的然而稍为一般化的方程组(把方程组看作连续的，因而采用关于 x、y、z 和 t 的偏微分方程)，表示药效学的基本定律，引入有关的特殊条件，就能推导出药物作用的各种定律。

当然，"系统"的这样一个定义，决不是普遍的。它抽去了空间和时间的条件，而这些条件是要用偏微分方程来表示的。它也抽去了对于系统以前的历史事件可能有的依赖关系，(广义地说，"滞后作用")如考虑这一点，就要把系统列成积分—微分方程。沃尔特拉(1931 年，还有德安科纳，1939 年)和唐南(Donnan，1937 年)讨论了这种方程。引入这样的方程，有明确的意义：该系统不仅要被看作空间的整体，而且要被看作时间的整体。

方程组(3.1)尽管有这些局限性，还是可以用来讨论一般系统的若干特性。方程组虽然只字未提变量 Q_i 的实质和函数 p_i（即系统内部的关系和相互作用）的实质，却可以由此推导出某些一般原理。

设以变化 $\frac{dQ}{dt}$ 的消失为特征的静态状况：

$$f_1 = f_2 = \cdots\cdots f_n = 0 \tag{3.2}$$

我们使函数等于零，就得到 n 个变量的 n 个方程。求解这些方程，得出一组值：

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= Q_1^* \\ Q_2 &= Q_2^* \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Q_n &= Q_n^* \end{aligned}\right\} \tag{3.3}$$

由于我们预先假定系统中的变化消失，这些值都是常数。一般说，将存在若干静态，有些是稳定的，有些不稳定。

我们引入新的变量：

$$Q_i = Q_i^* - Q_i'$$

重写方程组(3.1)：

$$\left.\begin{aligned} \frac{dQ_1'}{dt} &= f_1'(Q_1', Q_2', \cdots\cdots Q_n') \\ \frac{dQ_2'}{dt} &= f_2'(Q_1', Q_2', \cdots\cdots Q_n') \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{dQ_n'}{dt} &= f_n'(Q_1', Q_2', \cdots\cdots Q_n') \end{aligned}\right\} \tag{3.5}$$

我们假定，这个方程组可以展开为泰勒级数：

$$\left.\begin{array}{l}
\frac{dQ_1'}{dt}=a_{11}Q_1'+a_{12}Q_2'+\cdots\cdots \\
a_{1n}Q_n'+a_{111}Q_1'^2+a_{112}Q_1'Q_2'+a_{122}Q_2'^2+\cdots\cdots \\
\frac{dQ_2'}{dt}=a_{21}Q_1'+a_{22}Q_2'+\cdots\cdots \\
a_{2n}Q_n'+a_{211}Q_1'^2+a_{212}Q_1'Q_2'+a_{222}Q_2'^2+\cdots\cdots \\
\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
\frac{dQ_n'}{dt}=a_{n1}Q_1'+a_{n2}Q_2'+\cdots\cdots \\
a_{nn}Q_n'+a_{n11}Q_1'^2+a_{n12}Q_1'Q_2'+a_{n22}Q_2'^2+\cdots\cdots
\end{array}\right\} \quad (3.6)$$

这个方程组的通解是：

$$\left.\begin{array}{l}
Q_1'=G_{11}e^{\lambda_1 t}+G_{12}e^{\lambda_2 t}+\cdots G_{1n}e^{\lambda_n t}+G_{111}e^{2\lambda_1 t}+\cdots\cdots \\
Q_2'=G_{21}e^{\lambda_1 t}+G_{22}e^{\lambda_2 t}+\cdots G_{2n}e^{\lambda_n t}+G_{211}e^{2\lambda_1 t}+\cdots\cdots \\
\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
Q_n'=G_{n1}e^{\lambda_1 t}+G_{n2}e^{\lambda_2 t}+\cdots G_{nn}e^{\lambda_n t}+G_{n11}e^{2\lambda_1 t}+\cdots\cdots
\end{array}\right\} \quad (3.7)$$

这里 G 是常数，而 λ 是下列特征方程的根：

$$\begin{vmatrix}
a_{11}-\lambda & a_{12} & a_{1n} \\
a_{21} & a_{22}-\lambda & a_{2n} \\
\cdots & \cdots & \cdots \\
a_{n1} & a_{n2} & a_{nn}-\lambda
\end{vmatrix}=0 \quad (3.8)$$

根 λ 可能是实数，也可能是虚数。我们检验一下方程组(3.7)就会发现，如果所有的 λ 都是实数且是负数（若是复数，负数在它们的实数部分），那么 Q_i' 随着时间的增加而趋近于 0，因为 $e^{-\infty}=0$。而根据(3.5)，$Q_i=Q_i^*-Q_i'$，所以 Q_i 获得静态值 Q_i^*。在这种情况下，平衡是**稳定的**，因为在一个足够长的时间阶段中，系统愈来愈逼近静态。

然而，如果有一个 λ 是正数或是 0，那么平衡就是**不稳定的**。

最后，如果有一些 λ 是正数和复数，那么系统就包含周期项，

因为指数为复数的指数函数具有这样的形式：

$$e^{(a-ib)t}=e^{at}(\cos bt-i\sin bt)$$

在这种情况下，会出现周期性波动，一般是衰减的。

现在，研究一个最简单的情况，以 $n=2$ 作为例子来说明。这是一个由两种要素组成的系统：

$$\left.\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt}&=f_1(Q_1,Q_2)\\ \frac{dQ_2}{dt}&=f_2(Q_1,Q_2)\end{aligned}\right\}\qquad(3.9)$$

再规定这组函数可以展开为泰勒级数，它的解是：

$$\left.\begin{aligned}Q_1&=Q_1^*-G_{11}e^{\lambda_1 t}-G_{12}e^{\lambda_2 t}-G_{111}e^{2\lambda_1 t}-\cdots\cdots\\ Q_2&=Q_2^*-G_{21}e^{\lambda_1 t}-G_{22}e^{\lambda_2 t}-G_{211}e^{2\lambda_1 t}-\cdots\cdots\end{aligned}\right\}\qquad(3.10)$$

其中，Q_1^*，Q_2^* 是使 $f_1=f_2=0$ 而得到的 Q_1，Q_2^* 的静态值，G 是积分常数；而 λ 是下列特征方程的根：

$$\begin{vmatrix}a_{12}-\lambda & a_{12}\\ a_{21} & a_{22}-\lambda\end{vmatrix}=0$$

或展开为：

$$(a_{11}-\lambda)(a_{22}-\lambda)-a_{12}a_{21}=0$$

$$\lambda^2-\lambda C+D=0$$

$$\lambda=\frac{C}{2}\pm\sqrt{-D+\left(\frac{C}{2}\right)^2}$$

其中：

$$C=a_{11}+a_{22},D=a_{11}a_{22}-a_{12}a_{21}$$

在 $C<0,D>0,E=C^2-4D>0$ 的情况下，特征方程的两个解都是负的。因而得到一个节点，当 $e^{-\infty}=0$，第二项及以后各项不断地减小，系统趋向稳定的静止状态（Q_1^*，Q_2^*）。（图 3.2）

在 $C<D,D>0,E=C^2-4D<0$ 的情况下，特征方程的两个解都是带有负实数部分的复数在这种情况下，我们得到一个环，而

点(Q_1,Q_2)沿着螺旋曲线趋向(Q_1^*,Q_2^*)。

在 $C=0$,$D>0$,$E<0$ 的情况下,两个解都是虚数,因此方程组的解包含周期项,就会有围绕静止值的摆动或旋转。点(Q_1,Q_2)围绕(Q_1^*,Q_2^*)画出一条封闭曲线。

在 $C>0$,$D>0$,$E<0$ 的情况下两个解都是正数,不存在静态。

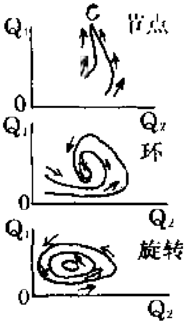


图 3.2

生 长

各个领域都有这种类型的方程式。我们可以用方程组(3.1)去说明各个不同领域的系统定律在形式上的同一性。也就是说,去论证一般系统论的存在。

举最简单的例子,只包含一种要素的系统,就可以证明这一点。方程组简化为单一的方程:

$$\frac{dQ}{dt}=f(Q) \tag{3.11}$$

这个方程可以展开为一个泰勒级数:

$$\frac{dQ}{dt}=a_1Q+a_{11}Q^2+\cdots\cdots \tag{3.12}$$

这个级数在设有要素"自然发生"的情况下,不包含绝对项。只要绝对值等于零,当 $Q=0$ 时,$\frac{dQ}{dt}$就必定消失。

如果我们只保留级数的第一项,就实现了最简单的可能性:

$$\frac{dQ}{dt}=a_1Q \tag{3.13}$$

这个式子表明,系统的生长与要素现有的数目成正比例。系统是正生长还是负生长,是增大还是减小,取决于常数 a 是正还是负。这个式子的解是:

$$Q = Q_0 e^{a_1 t} \tag{3.14}$$

其中：Q_0 表示 $t=0$ 时要素的数目。这个式子就是在许多领域中都可以见到的指数定律。（图 3.3）

指数定律在数学中叫做"自然增长律"，若 $a_1>0$，正确地反映了本金靠复利的增长。在生物学中，它适用于某些细菌和动物的个体生长。在社会学中，它正确地描述了动物群和植物群体的无约束生长，最简单的实例是细菌的增加，每一个个体分成两个，两个又分成四个，如此等等。在社会科学中，它叫作马尔萨斯定律，表示出生率高于死亡率时人口无限增长。它也可以描述人类知识的增长，用科学发现的专著的页数或关于果绳的出版物的数目来计算其量值（赫什，Hersh，1942 年）。常数取负值（$a_1<0$），这个指数定律就适用于放射性物质的衰变，单分子反应中化合物的分解，细菌在射线或毒药下一批一批地死亡，多细胞生物体在饥饿中体内物质的丧失，死亡率高于出生率情况下人口的灭绝率，等等。

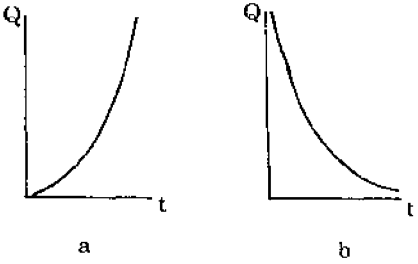


图 3.3 指数曲线

我们再看方程组（3.12），若保留两项，就有：

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q + a_{11} Q^2 \tag{3.15}$$

这个方程的解是：

$$Q - \frac{a_1 c e^{a_1 t}}{1 - a_{11} c e^{a_1 t}} \tag{3.16}$$

保留第二项有一个重要结果。简单的指数定律（3.14），是无限

增加的。我们把第二项考虑进去，就得到一条趋向一个极限值的S形曲线。这条曲线就是所谓的对数曲线（图3.4），它也有广泛的用途。

这条曲线在化学中就是自动催化反应曲线，即反应的产物加速反应本身的进行。在社会学中就是弗哈尔斯特（Verhulst）定律（1938年）描绘有限资源下人口的增长。

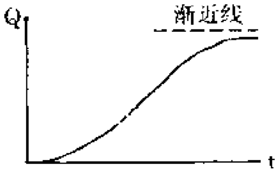


图 3.4 对数曲线

这些例子在数学上平淡无奇，却说明了本文饶有趣味的一个论点，这就是说，某些自然定律不仅能够在经验的基础上得到，而且还可以从纯粹形式的途径得到。上面所讨论的这些方程并不比稍为一般的方程组（3.1）有更多的含义，不过是把一般方程组展开为泰勒级数并使用了适当的条件。在这个意义上，这样的一些定律是"先验的"，并不依赖于它们在物理学上、化学上、生物学上以及社会学上等等的解释。换句话说，这表明一般系统论的存在，它论述系统形式上的特征，通过确定各种变量和参数，具体事实就作为它的特殊应用而显现出来。再换句话说，这些例子表明自然界形式上的一致性。

竞 争

我们的方程组也可以用来表示两个组成部分之间的竞争。

如上所述，可能出现的最简单情况是所有的系数 $(a_{j\neq 0})=0$，即每个要素的增长只取决于这种要素本身。那么，对于两个元素来说，我们就有：

$$\left.\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt} &= a_1Q_1\\ \frac{dQ_2}{dt} &= a_2Q_2\end{aligned}\right\} \tag{3.17}$$

$$\left.\begin{aligned}Q_1 &= c_1e^{a_1t}\\ Q_2 &= c_2e^{a_2t}\end{aligned}\right\} \tag{3.18}$$

消去时间,得出:

$$t = \frac{\ln Q_1 - \ln c_1}{a_1} = \frac{\ln Q_2 - \ln c_2}{a_2} \tag{3.19}$$

设 $a = a_1/a_2$, $b = c_1/c_2^a$

$$Q_1 = bQ_2^a \tag{3.20}$$

这个方程就是生物学中著名的异速生长方程。我们已假定,这里所讨论的是各组成部分生长的最简单形式(注意这里的指数),(3.17 和 3.18)。然而,异速生长关系也适用于某些更复杂的情况,如在严格意义上或在近似意义上按照抛物线,对数曲线和冈珀茨(Gompertz)函数的生长(卢默 Lumer,1937 年)。

异速生长方程广泛地应用于形态学、生物化学、生理学和系统发育学的数据处理。这个方程意味着,某一特征值 Q_1 ,可以由另一特征值 Q_2 的幂函数来表示。以形态发生学为例,某一器官的线度或重量 Q_1 大体上是另一器官的异速生长函数或生物体总线度或总重量 Q_2 的异速生长函数。我们以稍微不同的形式写出方程(3.17),上述的意思就清楚了。

$$\frac{dQ_1}{dt}\cdot\frac{1}{Q_1} : \frac{dQ_2}{dt}\cdot\frac{1}{Q_2} = a \tag{3.21}$$

或

$$\frac{dQ_1}{dt} = a\cdot\frac{Q_1}{Q_2}\cdot\frac{dQ_2}{dt} \tag{3.22}$$

方程(3.21)说明,在只考虑 Q_1 和 Q_2 的情况下,各组成部分的相对生长率(即:以原有大小的百分率来计算的增长)终身或在异速生长方程适用的生命周期中维持固定的比例。方程(3.22)阐明

了这种令人颇为惊讶的关系(因为生长过程非常复杂,初看起来,各组成部分的生长似乎不大可能由这样简单的一个代数方程来支配)。根据这个方程,它可以解释为分配过程的结果。设整个生物体为 Q_2,那么方程(3.22)说明器官 Q_1 在生物体新陈代谢所产生的总体增长($\frac{dQ_2}{dt}$)中占一份额,其数值正比于它与整体原有大小的比值($-\frac{Q_1}{Q_2}$)。a 是分配系数,表示器官占有它那一份额的能力。若 $a_1 > a_2$,即 Q_1 的生长强度大于 Q_2,那么 $a = \frac{a_1}{a_2} > 1$,这个器官比别的部分占有更大的份额,它因而比别的部分生长得快,或者说它是正异速生长。反之,若 $a_1 < a_2$,即 $a < 1$,这个器官生长得比较慢,或者说它以负异速生长。与此相似,异速生长方程也适用于生物体中的生物化学变化和生理功能。例如,在多种动物中,若以生长发育中的同种动物成亲缘动物来对照,其基础代谢的增长与体重有关,$a = 2/3$。这就是说,基础代谢一般是体重的面函数。在某些例于中,如昆虫幼体和蜗牛,$a = 1$,即基础代谢与它本身的体重成正比。

上述的表示式在社会学中就是佩里托(Pareto)定律(1937年),即国内收入分配定律。它利用了 $Q_1 = bQ_2^a$ 这个式子,其中 Q_1 = 个人得到某种收入的数目,Q_2 = 总收入数,b 和 a 是常数。解释与上面相似,以国民收入代替"生物总体的增长",以个人的经济能力代替"分配常数"。

若假定系统中各部分之间有相互作用,即 $a_{j\neq i} \neq 0$,情况就变得复杂起来。这样,我们就得到一些方程组,如沃尔特拉所研究的种间竞争(1931年),同样,还有斯皮吉尔曼所研究的生物体内的竞争。鉴于这些实例在文献中讨论的很多,我们就不再详细讨论了。只想把一二个普遍有兴趣的论点提一下。

沃尔特拉方程有一个有趣的结论,两个物种为同一资源而竞

争，在某种程序上比捕食—被食关系，即一个物种部分地被另一物种所歼灭的关系更具有毁灭性。竞争最终导致生长能力较小的物种的灭绝，而捕食—被食关系只不过使物种数目围绕一个中间值周期性地上下波动。这些关系已在生物群落系统中得到说明，但完全可以说，这些关系也有着社会学的含义。

另外，还要提一下哲学所关心的问题。当我们讲到“系统”，我们指的是“整体”或“统一体”。那么，对于一个整体来说，引入组成部分之间竞争的概念，似乎是自相矛盾的。然而，事实上这两个明显矛盾的陈述都是系统的本质。任何整体都是以它的要素之间的竞争为基础的，而且以“部分之间的斗争”（罗克斯 Roux）为先决条件。部分之间的竞争，是简单的物理—化学系统以及生命有机体和社会体中的一般组织原理，归根到底，是实在所呈现的**对立物的一致**这个命题*的一种表达方式。

整体性、总和、机构化、中心化

上面指出的那些概念常常被看作只是对生物特征的描述，甚至被认为是活力论的一个证据。实际上，它们是系统形式上的特性。

(1) 我们再次假定方程(3.1)可以展开为泰勒级数：

$$\frac{dQ_1}{dt} = a_{11}Q_1 + a_{12}Q_2 + \cdots\cdots a_{1n}Q_n + a_{111}Q_1^2 + \cdots\cdots \qquad (3.23)$$

我们知道，Q_1 量的任何变化，是所有要素 Q_1 至 Q_n 量的函数。另一方面，某一元素 Q_1 的变化，导致所有其他要素以及整个系统的变化。任一要素的变化都依赖于所有其他要素，系统因而表现为

* 对立物的一致(Coincidentia oppositorum)是 15 世纪德国哲学家、神学家库萨的尼古拉提出的命题。他认为，在神那里，一切对立物都是一致的。——译注

一个整体。

(2) 令变量 $Q_j(j \neq i)$ 的系数为零方程组降阶为：

$$\frac{dQ_i}{dt} = a_{i1}Q_i + a_{i11}Q_i^2 + \cdots\cdots \qquad (3.24)$$

这个方程意味着，每一要素的变化仅仅取决于这个要素本身。所以，每一要素都可以看作是独立于其它要素的。这个复合体的总体变化就是各要素变化的(物理的)总和。我们可以把这样的行为叫做物理的累加性或独立性。

我们可以用这样的说法来定义累加性：一个复合体能够通过把原先分离的要素集合拢来的办法一步一步地建立起来；反之，复合体的特征能够完全分解为各个分离要素的特征。我们称之为“堆”的那些复合体，如一堆砖头或一堆零散的东西，确实是这样的。根据力的平行四边形原则作用的机械力也是这样的。它不适用于德语称之为Gestalten(格式塔)的那些系统。举一个最简单的例子：三个带电的导体各有一定的电荷，可以分别地测定。但是，如用导线把它们连接起来，则每一导体的电荷取决于网络总体，而不同于它们彼此绝缘时的电荷。

尽管在物理学看来这是平凡无奇的，我们仍有必要强调物理系统和生物系统的非累加性特征。这是因为机械论的纲领曾经支配而且很大程度上还在支配着方法论的姿态(贝塔朗菲，1949年 *a*，1960年)。我们可以在罗素(Russell)勋爵的书中(1948年)看到，他顽固地拒绝“机体论的概念”。罗素认为这个概念是说：支配着组成部分行为的定律只能用部分在整体中的地位来说明。他拒绝这个观点，他用眼睛作为例子：如把眼睛孤立起来，只要把它内在的物理—化学反应以及输入的刺激和输出的神经脉冲考虑在内，就能够很完善地理解眼睛作为光接受器的功能。他说：“科学已有的进步，得力于分析和人为隔离的方法……所以，在任何情况下采取机械论的观点作为工作假设是精明的，只有存在明显违反迹

象的地方才要抛弃它。至于生物现象，迄今还完全没有这样的迹象”。累加性原理在一定程度上可以适用于生命有机体，这是对的。心脏的搏动、神经一肌肉标本的抽搐，神经的作用势，无论是把它们隔离出来研究，还是在生物整体中研究，都差不多。累加性原理在这些现象上的运用，我们将在后面解释为高度“机构化”的局部系统的出现。但是，罗素的言论恰恰是在基本而又基本的生物现象方面，深深地陷入错误之中。无论你举出哪一种生物现象，如胚胎发育、新陈代谢、生长发育、神经系统的活动，还是生物群落等等，你总可以看到，一个要素在系统内部的行为不同于它在孤立状态中的行为。你不能从各个孤立部分概括出整体的行为；为了理解各个部分的行为，你必须把各种从属系统和它们的上级系统之间的关系考虑进去。分析和人为隔离的方法是有用的，但是对于生物学的实验和理论却是很不够的。

(3) 数学意义上的累加性，指的是系统总体的变化所服从的方程式与部分的方程式具有同样的形式。通常，只有在方程式右边的函数仅包含线性项的情况下才是可能的。

(4) 此外还有一种情况，在物理系统中很少出现，但在生物学、心理学和社会学系统中却是常见的基本现象，这就是，要素之间的相互作用随时间而减小。在我们的基本模式方程(3.1)中，Q_i 的系数不是常数，而是随时间减小，最简单的情况是：

$$\lim_{t\to\infty} a_{ij} = 0 \qquad (3.25)$$

在这种情况下，系统从整体状态演变为各要素独立状态。系统的原始统一状态逐渐地分裂为各自独立的因果链。我们可以把这种情况叫做渐进分异(progressive segregation)。

一般说来，物理的整体组织，诸如原子、分子以及晶体，来源于先存要素的联合。反之，生物的整体组织则是由原始整体的分化(即分离为部分)而逐渐建立起来的。胚胎发育的定型就是一例，胚原基从等可能性状态变为类似镶嵌砖状态或各部位的总和，这些

部位各自独立地发育成为一定的器官。神经系统及其行为的发育和演化,从整体或大区域的活动开始发展到定形的中心和反射弧的建立。生物学的其他许多现象也都如此。

系统分异为从属的部分系统意味着它的复杂性增加,这似乎是生命界中分异占优势的原因。这样向高层次转化,其先决条件是要有能量补给,而只有开放系统才能从环境中取得能量,并不断地把它输入系统内部。后面,我们还要讨论这个问题。

在整体状态下,系统的一个扰动就会导致一个新的平衡状态。然而,如果系统分裂为一条条因果链,它们就会独立地存在下去。机构化强度的增大,就意味着要素功能只依赖要素自身的定型程度的增大,结果就失去了由于相互关系而存在于系统整体中的调节能力。相互作用的系数愈小,可以略去的有关项Q_1愈多,系统就愈像"机器",即各独立部分的总和。

这个事实,我们可以名之为"渐进的机构化"(progressive mechanization),它在生物学中扮演重要的角色。首先,它的出现,是系统内部相互作用所造成的。其次,仅仅依靠这些要素的作用,要素趋于定型,从而发生了由整体性行为向累加性行为的转化。在胚胎发育中可以找到许多例子,那里,每一区域的性能最初取决于它在整体中的地位,所以,在任意扰动之后,有可能调整。往后,胚胎的各区域被定型为单一的性能,例如发育为某一器官。神经系统也是这样,某些部分变成一些不可代替的性能中心,如反射弧。然而,在生物学领域中,机构化决不是完全的。虽然有机体部分地机构化了,但仍然保持为一个统一系统,这是调节的基础,是同变化着的环境要求发生相互作用的基础。这些思想同样适用于社会结构。在原始公社中,每个成员几乎能做与整体有关的任何事情;在高度分化的社会里,每个成员被确定于做某一种性质的工作,或做某几种性质的工作。某些昆虫社会到了登峰造极的地步,可以这样说,在那里个体已转化为由某种工作性质所决定的机器。在一些蚂

蚁社会中，通过一定阶段的不同营养方式，把个体定型为工蚁或兵蚁，这种胚层不同区域定型发育到某个结局，有着惊人的类似。

在生物学、心理学和社会学中，任何一种进化的悲剧性张力，都在于整体性与总和之间的悬殊差别，只有从还未分化的整体状态转化到各组成部分的分化状态才可能有进步，但这就意味着各组成部分被固定在某种机能上。因此，渐进分异也就是渐进机构化。然而，渐进机构化也就意味着调节能力的丧失，只要系统还是一个统一的整体，由于系统内部的相互作用，在一阵骚动之后就还会达到新的静态。系统是自调节的，但是如果系统分裂为一条条独立的因果链，调节能力就丧失了。各个局部过程将互不相顾地进行下去。例如，我们在胚胎发育中就可以看到这种行为，调节能力随着定型过程的进展而减小。

只有起初统一的机能分为各特殊部分的机能，才有可能进步。然而，这个进步同时也就是未定型状态还可能具有的性能的枯竭和丧失。部分愈以某种方式特化，就愈不能恢复原状，而组成部分的丧失，就会导致系统总体的崩溃。用亚里士多德的语言来说，一切进化都靠某一潜在可能性的展开，而把其他许多可能性扼杀于萌芽状态。我们可以在胚胎发育中，在种系统发育的特化中，以及在科学和日常生活的特化中，看到这种现象（贝塔朗菲 1949 年 a，1960 年）。

通常把整体性行为和累加性行为，一元论的概念和元素论的概念，看作两个对立面。但是，常常可以看到，它们之间不存在对抗，而只存在由整体性行为到累加性行为的逐渐转化。

（5）与此相联系的还有另一条原理。设一个要素 p_i 的系数在所有方程中都是大数，而其他要素的系数却非常小，甚至等于零。在这种情况下，系统可能是如下的样子（为了简便起见，我们只写出线性部分）：

$$\left.\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt} &= a_{11}Q_1 + \cdots\cdots a_{1s}Q_s + \cdots\cdots \\ \frac{dQ_s}{dt} &= a_{s1}Q_s + \cdots\cdots \\ \frac{dQ_n}{dt} &= a_{ns}Q_s + \cdots\cdots Q_{n1}Q_n + \cdots\cdots\end{aligned}\right\} \quad (3.26)$$

方程组所给出的关系可以有几种不同的表达方式，我们可以把要素 p_s 叫做主导部分，或者说，系统是以 p_s 为中心的。若 p_s 的系数 a_{is} 在一些方程乃至全部方程中都是大数，而 p_s 本身是小数，p_s 的一个小变化，会导致系统总体的巨大变化，那么，p_s 可叫做触发器(trigger)。p_s 的一个小变化，会在系统总体中“放大”。从能量的角度看，我们在这种情况中找不到“因果守恒”(原因等于结果)，而只看到“因果激励”(instigation cavsality)(密塔施 Mittasch，1948 年)，p_s 在能量上微小变化，导致系统总体能量的巨大变化。

中心化原理在生物学领域中有特殊重要的意义。渐进分异往往与渐进中心化(progressive centralization)相联系，以主导部分随时间的演化来表示，即方程组(3.25)与(3.26)相结合。同时，渐进中心化原理就是渐进个体化(progressive individvalization)原理。“个体”可以定义为中心化的系统。严格地说，在生物学领域中，这是一种极限状况，只是在个体发育上和种系发育上近似地接近这种状况，生长发育中的生物体通过渐进中心化愈来愈统一，“愈不可分”。

所有这些事实，都可以在各种各样的系统中观察到。尼科拉伊·哈特慢(Nicolai Hartman)甚至要求一切“动态结构”都应有中心化现象。所以，他在物理领域中只承认很少几种结构，最小尺度的结构(电子围绕原子核的行星式系统)和大尺度的结构(以太阳为中心的行星系统)。从生物学观点来看，我们要强调渐进机构化和渐进中心化。在初始状态，等可能性的各部分之间的相互作

用，产生系统的行为；渐渐地，统治部分和下面的从属部分发生了。例如，在胚胎学中，这些部分叫做形成体（斯佩曼，Spemann）。在中枢神经系统中，起初各部分基本上是等可能性的，就像低等动物的传导神经系统那样，后来，从属于神经系统主导中心的现象发生了。

因此，在生物学中，类似于渐进机构化，有一条渐进中心化原理，由主导部分随时间变化的式子来表示，即方程组（3.25）与（3.26）相结合。这个观点使人们有可能去阐明一个重要的但又不易定义的概念——个体。“个体”意味着“不可分”。然而，可否把真涡蟠虫（planaria）或水螅叫做“个体”呢？这些动物无论被切割成多少段，仍能再生长成为一个个完整的动物。用实验方法可以很容易地制造出双头水螅，两个头会争夺一个枝角虫（daphnia），尽管哪一头捉到猎物本是无所谓的，反正都吞咽到共同的胃中消化，对所有部分都有益，甚至高等生物体，至少在早期发育阶段，其个体性也是模糊的。不仅海胆胚胎，还有蝾螈胚胎，被分割后每一半都能发育成为完整的动物。人类的同卵双生子可以说是天然实现的杜里舒实验。这些思想同样也适用于动物的行为。低等动物如果受到适当的刺激，会发生身体两半对抗的趋激反应。沿着进化的阶梯上升，中心化不断增强；行为不是同级的各部分机制的合成，而是受神经系统最高中心支配和统辖（参看贝塔朗菲，1937年）。

所以，严格地说，生物学上不存在个体性，而只存在由渐进中心化而来的进化和发展过程中的渐进个体化，某些部分获得支配作用而决定整体的行为。因此，渐进中心化原理也就构成了渐进个体化原理。个体被定义为已经形成中心的系统，这实际上是一种极限状态，生物体在发育和进化过程中趋近于这种极限状态，从而变得较为统一和“不可分”（参看贝塔朗菲，1932年）。在心理学中，相似的现象有格式塔的“集中”，例如知觉，必须出现这样的集中，心理格式塔才能把自己和他者区分开来，与联想心理学的“无秩原

理”相反，梅兹格(Metzger)说：“一切心理形成，对象、过程、经验直到最简单的知觉格式塔，呈现某种势力分布和中心化，各部分、各部位、各种特性，存在着等级秩序，间或存在着派生关系。”同样的原理还适用于社会学领域，一群乌合之众是没有“个体性”的，为了使一个社会结构同另一个区别开来，必须围绕某一个体结合起来。根据这个重要理由，一个像湖泊或森林那样的生物群落就不是“有机体”，因为个体有机体往往要在不同程度上形成中心。

忽视渐进机构化原理和渐进中心化原理常常会导致假命题，因为它只承认独立的、累加的要素这种极限状态，要不然就只承认等价要素的完整的相互作用，而不承认生物学上极为重要的中间状态，这种情况在“基因”和“神经中枢”等课题中起作用。老的遗传学家(不是现代遗传学家)倾向于把遗传物质看成决定个体特征和器官的各个微粒单位的总和。反对这种论点的理由是明显的：大分子的总和不能产生出有组织的生物整体。正确的答案是，基因组作为一个整体产生生物体整体，可是，某些基因突出地决定某些特征的发育方向，那就是起“主导部分”的作用。透彻的表达是，每个遗传特征是由许多基因，甚至由所有基因共同决定，而每个基因不仅影响单一特征，而且影响许多特征，还可能影响整个生物体(特征的多基因性和基因的多象性)。同理，在神经系统的功能方面，明显地存在两种见解，不是把它看成个别功能机制的总和，就是把它看作同质的神经网。这里的正确概念也同样是，任何功能归根到底起源于所有各个部分之间相互作用，但是，中枢神经系统的某一部分起着决定性的作用，因而称为这个功能的“中心”。

(6) 下面是上述说法的更一般的表示方式(但更不形象化)。设 Q_2 的变化是 Q_i 的任一函数 F_i，并在空间座标中取导数，则有

第(2)条设 $\frac{\partial F_i}{\partial Q_j} = 0, i \neq j$；“独立”；

第(4)条设 $\frac{\partial F_i}{\partial Q_j} = f(t) \quad \lim_{t\to\infty} \frac{\partial F_i}{\partial Q_s} = 0$；“渐进机构化”；

第(5)条设 $\frac{\partial F_i}{\partial Q_s} \gg \frac{\partial F_i}{\partial Q_j}, j \neq s$ 或 $\frac{\partial F_i}{\partial Q_j} = 0$;

Q_s 是“支配部分”。

(7) 上面所勾划的系统概念还需有一个重要补充。系统的构成往往是就某种程度而言的,因此,系统的每一个别成员又是下一较低层次的系统。要素 $Q_1Q_2\cdots\cdots Q_n$ 中每一个又是要素 O_{i1}, $O_{i2}\cdots O_{in}$ 的系统,其中每一个系统 O 又可用与(3.1)相似的方程来定义:

$$\frac{dO_{ij}}{dt} = f_{ij}(O_{i1}, O_{i2}, \cdots O_{in})$$

系统这样的重叠叫做层次序列(hierarchical order)。整体性、累加性、渐进机构化、中心化以及果决性等等方面又适用于各个个别成员那一层。

这样的层次结构,一层一层地组合为层次愈来愈高的系统,是实在——作为一个整体——的特征,特别是生物学、心理学和社会学中的重要的基本特征。

(8) 封闭系统和开放系统有重大的区别,将在第六章至第八章中加以讨论。

果 决 性

我们已经看到,前面所研究的那个典型方程组可以有三种解。该系统随着时间的增加可能渐近地达到稳定的静态;该系统不可能达到这一状态;该系统可能处于周期性摆动状态。在系统逼近静态这种情况下,它的变量不仅可按当时的现实状况来表示,而且还可用它与静态的差距来表示。设 Q_i^* 是静态解,那么可以引入新变量:

$$Q_i = Q_i^* - Q_i$$

从而:

$$\frac{dQ_1}{dt}=f(Q_1^*-Q_1')(Q_2^*-Q_2')\cdots\cdots(Q_n^*-Q_n') \quad (3.27)$$

我们可对这个方程作如下解释。在一个系统逼近静态这种情况下，正在发生的变化不仅可以按当时的现实状况来表示，而且还可以用它与平衡状态的差距来表示。这个系统似乎在“瞄准”一个将来才能达到的平衡状态，或者说，这个事件可被表示为由将来的最终状态所决定的。

长期以来，人们一直认为物理学的某些公式的表述明显地具有果决性的特征。两方面都适用。尤其是在力学最小作用量原理中，人们早已看到这样的目的论。莫培图(Maupertuis)早就认为他的最小作用量原理证明了这个世界是“最佳的世界”，是一个有目的的创造者的工作成果，在这个世界的许多实际运动中，实现了以最小作用力导致最大效果的原则。欧拉(Euler)作了类似的论述：“既然整个世界是最优良的构造，既然这个世界起源于全知全能的创造者，世界上的一切事物就无不呈现出极大或极小的特征”。在物理化学的勒夏特利埃(Le Chatelier)定理和电学的楞次(Lenz)定律中也可以看到同样的目的论的观点。所有这些定理都表明，在扰动的情况下，系统发挥反抗干扰的力量，并恢复到平衡状态。这些定理都是从最小作用原理派生出来的。与力学最小作用原理相对应的各种原理可以解释任一类型的系统。因而，沃尔特拉曾说，可以开展与力学动力学相对应的人口动力学研究，这里同样显示出最小作用原理。

显而易见，拟人的解释是概念性的错误。最小作用原理及与此有关的原理只不过是从这样的事实产生的：设一个系统达到平衡状态，导数都变成零，也就是说某些变量达到极值，极大或极小。只有在这些变量用拟人的词句如效果、约束、工作等来表示的时候，物理活动中才明显地出现物理过程的目的论。

果决性也可以说成是取决于将来的意思。从方程式(3.27)可

见，事件实际上可以被看作或被描写为不但由它的现实状况所决定，而且还由它所要达到的最终状态所决定。其次，这一表达式具有普遍性质，它不仅适用于力学，而且适用于任何一种关系。第三，这个问题在生物学和哲学中常常被曲解，因此，澄清这个问题是十分重要的。

换一个话题，我们举作者提出的生长方程式作为例子（贝塔朗菲 1934 年，及其他）。这个方程式是：$l = l^{*} - (l^{*} - l_{0})^{-Ki}$（参看第七章）。其中，$l$ 代表动物在时间 t 的长度，l^{*} 是最终长度，l_0 是初始长度，k 是常数。这个方程式看起来好像动物在时间 t 的长度取决于无限长时间后所要达到的最终值 l^{*} 。然而，最终状态 l^{*} 只不过是使微商等于零，因而 t 消失而获得的极值状况。为了做到这一点，我们首先必须知道这个微分方程，过程实际上是由它决定的。这个微分方程就是：$\frac{dl}{dt} = E - kl$ ，它说明生长取决于以参数 E 表示的合成代谢过程和以 k 表示的分解代谢过程的对抗作用。在这个方程中，过程在时间 t 的状况仅仅取决于现实条件而不出现将来的终态。在变化等于零时，l^{*} 被定为 E/k 。所以，“目的论”的最终值公式，只不过是表示现实状态的那个微分方程的一种变换。也就是说，过程走向最终状态的针对性，与因果关系的过程并没有什么不同，它只是因果关系过程的另一种表达方式。将来所要达到的最终状态并不是神秘地吸引着系统的“vis a fronte”（拉力），而只是因果“vires a tergo”（推力）的另一种表示。基于这个理由，物理学充分地利用这样的最终值方式，因为这样做在数学上是清晰的，而且没有谁把目标的拟人“预见”加到物理系统的头上。另一方面，生物学家却常常把这样的公式看得多少有点离奇，不是担心它成为活力论的藏身之所，就是把这样的目的论或目标针对性看作活力论的“证据”。涉及有生命界而不涉及无生命界时，我们倾向于把果决性过程比作人类对目标的预见，而事实上我们是在处理显而

易见的、在数学上也很平常的关系。

甚至哲学家也常常对这件事作错误的解释。从冯·哈特曼(E. von Hartmann)到卡夫卡(Kafka)和我本人这样的现代作者，都把果决性定义为因果关系的反向，即过程取决于本身将来的状态而不是过去的状态。这样的定义经常遭到反对，因为根据这个概念，状态 A 就会由将来的状态 B 决定，现存的事物由非现存的事物决定(如格罗斯，什里克)。前面说过，这种表示方式并不意味着非现存的将来有不可思议的“作用”，而只是一种间或有用的表达事实的方式，这个事实本来也可以用因果关系的词句来表达的。

果决性的类型

这里并不打算详细讨论果决性问题，只是列举儿种实用的类型。分类如下：

1. 静态目的论或适合性，指一种安排似乎为了有助于某一“目的”。例如，一件毛皮上衣适合于保持体温，而动物的毛发、羽毛和脂肪层也是这样，刺可对抗食草的牲口而保护植物；摹拟色和拟态有利于对付天敌而保护动物。

2. 动态目的论，指过程的方向性。这里要区分常常被混淆的儿种不同现象：

(1) 事件的方向对着最终状态，也可以表达为，它的现实行为似乎取决于它的最终状态。所有要达到不随时间变化的状态的那些系统都有这样的行为。

(2) 以结构为基础的方向性，指一种结构的安排使过程以某种方式达到某种结果。当然，这对于生产预期产品或产生预期性能的人造机器的功能来说，是完全正确的。我们在生物界看到的过程结构秩序，其复杂程度大大超过所有的人造机器，从宏观器官的功能(如眼睛有点像照相机，心脏有点像泵)，到微观的细胞结构(担

负代谢、分泌、兴奋、遗传等等功能），都可以找到这样的秩序。人造机器的工作方式是生产某种产品或产生某种性能，如制造飞机或开动汽车；而生命系统中过程秩序的工作方式却是维持系统本身。这种过程很大一部分可用自动动态平衡来描述（坎农），那就是，通过这种过程使生物体的物质和能量的局面保持恒定，例如体温调节机制，维持渗透压、ph 值、盐浓度的机制，姿态调节机制等等。这些调节很大程度上受反馈机制的支配。反馈就是机器的输出中有一定数量作为"信息"，受监控地返回到输入以便调节输入，从而稳定或指导机器的活动。在工程技术中，这类机制是众所周知的，例如蒸汽机调速器、自航火箭以及其他"伺服机构"。近来控制强调指出，很大一部分有机体的调节和自动动态平衡现象是和反馈机制分不开的（弗兰克等人，1948 年；维纳，1948 年）。

（3）然而，有机体的调节还有另外一个基础。这就是异因同果性，即从不同的初始状态，通过不同的途径，到达相同的最终状态。开放系统到达稳态，就是异因同果性的实例。看来，异因同果性造成有机系统的初级调节能力，也就是造成这样一类调节，它们不是建立在既定结构和机制的基础上，面是反其道行之，排除这样的机制，从而被看成活力论的论据。

（4）最后，真正的果决性或有目的性是存在的，这就是目标的预见决定实际的行为。这是亚里士多德首创的概念。它假定将来的目标已经存在于思想之中，并且指导现实的活动。真正的有目的性是人类行为的特征，它同语言和概念等符号系统的进化密切地联系在一起（贝塔朗菲，1948，1965 年）。

混淆果决性的这些不同类型，是认识论和理论生物学中发生混乱的因素之一。在人造物的范围内，适合性[见 1.]和机器的有目的运转[见 2.（2）]当然是由于智能的设计[见 2.（4）]。有机体结构的适合性[见 1.]大概可以用随机突变和自然选择的因果作用来解释。然而，这一解释对于非常复杂的有机结构和反馈系统[见

2.(2)]的起源,是没有说服力的。活力论的实质就是企图用具有目标预见性的智能[见 2.(4)]去解释有机体的方向性[见 2.(2)和(3)]。这就在方法论上越出了自然科学的界限,而且为经验所不容,因为,即使在最惊人的调节现象和本能现象面前,我们也没有理由为这种解释辩护,而却有大量的明确的理由来反对这种解释(例如把胚胎和昆虫说成具有超人的智力)。作为"活力论的证据"而提出的那些现象,诸如异因同果性和昆虫变态现象,是生命有机体作为一个开放系统的特征状态,因此可以对这些现象作出科学解释和理论上的说明。

科学中的同型性

本书只打算简要地指出一般系统论的总目标和几个概念。进一步的任务,一方面是要用严格的逻辑—数学形式来表达这个理论;另一方面,要进一步发展各种类型的系统都适用的原理。这是具体的课题。例如,人口统计动力学的发展对应于力学动力学(沃尔特拉,参看德安科纳,1939 年)。最小作用量原理可在各个不同领域中找到。在物理化学中有勒夏特利埃定理,可以证明这条定理对于开放系统也是正确的。在电学中有楞次定律、在人口理论中有沃尔特拉等人的理论。物理学中的张弛振荡原理同样发生于生物学的许多现象中,发生于人口动力学的某些模型中,周期性的一般理论似乎是科学的各个不同领域都迫切需要的东西。因此,要努力发展这样一些原理、如最小作用量原理、静止状态和周期变化状态(平衡和有节奏波动)原理、稳定存在状态原理以及关于物理学一般化形式面对系统同样有效的诸如此类的课题。

所以,一般系统论不是熟知的微分方程及其解的目录,而是提出有新意义的明确的课题。这些课题有一部分并不在物理学中出现,但却是非物理领域的重要的基本问题。正因为传统的物理学不

涉及与此有关的现象，所以这些课题常常以形而上学或活力论面目出现。

一般系统论还应是科学中重要的调节手段。不同领域存在着结构相似的定律，就有可能把比较简单、比较熟悉的模型运用到比较复杂、不易处理的现象上去。所以，从方法论上说，一般系统论应是刺激和控制人们把一个领域的原理转移到另一领域的重要方法；再没有必要在彼此隔绝的不同领域，一再重复地去发现同一原理。同时，由于阐明了确切的标准，一般系统论能够防止表面的类比，这种类比在科学上是无用的，在实际结果上是有害的。

这就要求确定一个范围，在这个范围内，科学中的"类比"是可以允许的，而且是有用的。

我们在前面已经看到，各种不同的科学出现相似的系统定律。不能用数学语言表述其一般原理但可用通常语言描述的那些现象，也是如此。例如，切开的海胆或蝾螈胚胎形成动物整体，中央神经系统被切除或被损害一部分之后重建正常的功能，心理学中格式塔概念，这三个过程在现象学和内部机制上差别很大。然而，支配这些不同现象的原理却惊人地相似。又如，我们研究日耳曼语系的发展，从中可以看到，以原始的语言为开端，某些语音的变异，在各个不同部落平行地发展，尽管这些部落的地理位置彼此相离很远，如冰岛、不列颠群岛、伊比利亚半岛。这里无疑有相互影响，但在部落分离、语言的发展颇为独立以后，还是表现出明确的对应性*。生物学家可在某些进化发育中找到相应的原理。例如，已经绝灭的有蹄动物雷兽(titanotheres)。在第三纪，它们从较小的体形发展到庞大的体形，而随着躯体尺寸的增长，形成了空前的巨角。更为详细的研究表明，雷兽类从它们早先的小体形开始，分裂为几个种群，各自独立地发展，但还是表现出平行的特征。所以，我

* 感谢奥托·霍夫勒(Otto Hofler)教授为我指出这一现象

们在共同起源而后独立发展的平行进化现象中，看到饶有趣味的相似性：这里，各部落语言的独立进化；那里，某种哺乳动物中各个种群的独立进化。

在简单的事例中，同型性的道理是容易理解的。例如，指数定律说明，若干实体的特定复合体，它的那些要素在每一单位时间中增减的百分比是固定的。所以，这条定律可应用于银行存户帐目上的英镑数，也同样可应用于放射性原子、分子、细胞以及群体中的个体数。对数定律说明，最初按指数进行的增大，受一些约束条件的限制。在自催化反应中，分子催化它本身的形成，可是由于一个封闭容器中分子数目是有限的，因而，在所有分子都转化完毕的时候，反应必定停止，而且必定趋近一个权限值。一个群体随着其个体数目的增加而以指数规律增长，但如空间和食物有限，能提供给每一个体的食物总数就减少，所以，个体数目的增长不可能是无限制的，只能逼近一个稳态，这个稳态由适应于可供食源的最大群体量所确定。一个国家已有的铁路线，导致交通运输和工业的增加，反过来这又需要更稠密的铁路网，直到最终达到饱和状态。所以，铁路的行为就像加速自己增大的自催化物一样，它们遵循自催化曲线发展。抛物线定律表示系统内部的竞争，特定的常数表示每一元素占有它那个份额的能力。因此，同样形式的定律既可用于佩里托定律所表述的经济系统中的个体竞争，又可用于生物体内部器官为营养物质而竞争所呈现的异速生长。

不同领域或不同学科的同型性，显然需有三个先决条件。显而易见，定律的同型性一方面取决于我们的认识，另一方面取决于实在。通常，写下任何一个结构复杂的微分方程是容易的，然而甚至看上去很单纯的式子也可能很难求解，或者得出很麻烦的解来。能够很好地描述自然现象的简单数学式为数有限。因此，本质不同的领域会出现结构同一的定律。这个道理也同样适用于普通语言的陈述；这里，智力方案的数目同样是有限的，却要把它们用于十分

悬殊的领域。

然而，假如这个世界(即可观察的事实的总和)不是一个可以使用这些定律和图式的世界，那么这些定律和图式就没有多大用处。试想象一个浑沌世界，或者想象一个复杂得用我们有限的智力不可能建立比较简单图式的世界。我们这个世界不是这样一个世界，这是科学能够存在的前提。实在的结构正好允许我们应用概念构思。然而，我们也明白，所有的科学定律只不过是抽象地、理想地描述实在的某一方面。一定的概念构思与实在秩序的某些特征有明确的联系，从这个观点看，任何一门科学都是实在的一幅程式化的图画。正像建筑物的蓝图不是建筑物本身，而且蓝图并不描绘建筑物的每一细节，如砖块如何排列，用什么力量把它们结合在一起等等，不过，纸上的设计与石头、钢铁、木材等真实建筑物之间明确地存在一致性。这里并不发生终极“真理”的问题；问题只在于科学所制订的关于实在的计划在多大程度是正确的，在多大程度上符合需要，在多大程度上可以改进，而且，实在的结构是否在一张简单的蓝图——人类的科学体系中表示出来。不同的描述总是可能的，甚至还是必要的；换句话说，去追问中心投影和平行投影，水平图和垂直图哪一个更“正确”是没有意义的。后者可以用实例来说明，同样的物理“假设”可以用不同的语言来表达，例如，用动力学或者用静力学，甚至要用更完全的考虑，如微观物理学的粒子模型或波动模型。与这些问题无关，科学的存在告诉我们，用概念构思表示实在的秩序的某些特征，是可能的。这种可能性的先决条件是实在本身存在着秩序；用上面提到的例子来说，这类似于我们能够画出一座房屋或一个晶体的图样，但不能画出爆炸后石块纷飞，或液体中分子的无规则运动。

不同领域的定律的同型性还有第三条理由，对于目前的实际运用至关重要。我们的考虑是从“系统”的一般定义即“相互作用下的一些要素”开始的，并用方程组来表示。至于系统的实质、它的各

个要素的实质以及要素之间的关系的实质，都未作专门的假定和陈述。然而，从“系统”这一纯粹形式的定义，却得出许多特性，一部分在各个科学领域的著名定律中表示出来，一部分涉及先前被看作拟人的、活力论的或形而上学的概念。因此，各个不同领域间一般概念乃至特殊定律的对应性，是把它们与“系统”联系起来的结果，是把某些一般原理应用于各种系统而不问其实质的结果。所以，诸如整体性与总和、机构化、层次、逼近稳态、异因同果等原理可以出现在十分不同的学科中。不同领域的同类型，是以一般系统原理的存在，和发展到一定程度的“一般系统论”的存在为基础的。

另一方面，我们可以把现象的描述分为三类或三个层次，来说明同型性概念的界限。

第一，类比，即现象在表面上相似，但它们的因果要素以及有关定律都不相符。这一类描述流行于过去的年代中。例如，当时把一个生物体的生长与晶体的增长或渗透晶胞的增长相比拟。这里虽有一个方面乃至更多的方面在表面上相似，然而，我们确有把握地说，植物和动物的生长并不仿效晶体和渗透结构的增长方式，而且这两种事例的有关定律也各不相同。同样的做法，把一个生物群落（如一座森林）看成一个“有机体”，然而，有机个体的统一性和许多植物的松散共生体有着明显的区别。还有，把一个群体的发展与一个生物有机体的出生、生长、成熟以至死亡相比拟。总之，生命圈中的这种比拟是非常可疑的。

第二个层次是异体同形（homology），它出现在作用因素不同但各自的定律在形式上相同情况下。这同样的异体同形，作为科学中的概念模型有十分重要的意义。物理学中常常用到它。例如，把热流看作热素的流动，把电流比作水流，把早期水力学关于梯度的见解大体上移植到电势和化学势上来，如此等等。当然，我们确切地知道，根本不存在什么“热素”，只有在动力学的意义上去解释的热；然而，这个模型却有可能制定形式上正确的定律。

我们所研究的是逻辑同形。我们可以把它表述如下：若对象是一个系统，必有一般系统的某些特征，而不问它在其他方面还有什么特征。逻辑同形，不仅使科学同型性成为可能，而且能够作为一个概念模型指导人们正确考察并最终解释现象。

最后，第三个层次是解释，即说明对个别对象或一类对象有效的特殊条件和定律。用逻辑—数学的语言来说，那就是以适用于个别情况的特定函数来代替方程(3.1)中一般函数 f。任何科学的解释都必须有这些特殊定律的知识，例如，化学平衡、生物体生长、群体发展等定律。即使特殊定律也可能在形式上呈现一致性，或我们所讨论的同形性，当然，个别定律的结构有各不相同的个别状态。

类比在科学上是没有价值的，与此相反，同形却往往提出有价值的模型，因而广泛地应用于物理学。同样，一般系统论能够作为一种合乎规则的推理，去区别类比和同形，无意义的相似和有意义的模型移植。这个作用对于不能纳入物理和化学范围的科学，如人口统计学、社会学和生物学的大部分领域，尤为适用。这类科学存在着可以用适当的模型来说明的确切的定律。

系统特征的同形性并不含有把一个领域还原为另一个较低领域的意思。但它也不是简单的比喻和类比，而是实在中存在的形式上的一致性，因为实在可以被看作由各种各样“系统”所组成的。

从哲学上讲，一般系统论在其成熟的形式上，要用逻辑—数学的确切的定律体系代替已有的“范畴理论”(哈特曼，1942 年)。还在用通俗语言表达的一般见解，只有用数学的语言才可能获得又清晰又确切的表达。

科学的统一性

我们把这一章的主要结论概括如下：

1. 对一般系统原理的分析表明，过去一直被看成拟人的、形而上学的或活力论的许多概念，完全可以用公式确切地表示。这些概念是系统定义和某些系统状态的必然结果。

2. 这些研究对于科学中的具体课题，是一种有用的前提。特别是，它可以解释专门学科领域通常的体系安排和分门别类所没有设想到的那些课题。因此，系统理论该是把新的知识分支发展为精密科学即数学定律体系的重要工具。

3. 这一研究对于科学哲学具有同等重要的意义。科学哲学的主要课题的面貌为之一新，往往令人吃惊。

4. 某些原理大致适用于各种系统，而不用考虑这些系统的实质和有关实体。这个事实说明，各个不同的科学领域各自独立地出现相互一致的概念和定律，使得它们在现代发展中带有明显的平行性。从而，自然科学的不同领域以及心理学和社会学都有诸如整体性、总和、机构化、中心化、层次、静态和稳态、异因同果等等概念。

这些思想无疑与科学统一性问题有关。流行的见解以卡尔纳普(Carnap，1934 年)为代表。他认为科学的统一性来自这样的事实；科学中所有的陈述最终都可以用物理学的语言来表达，那就是使它们的数量值都归结为空间一时间座标系上的确定的位置。基于这一观点，所有外观上非物理学的概念，特殊地说如“物种”、“有机体”、“受精”等等生物学概念，都用某种可理解的标准，即能够物理化的数量确定性来定义。因此，物理学的语言是科学的通用语言。生物学的定律是否可以还原为物理学的定律，即有效地解释所有无机现象的自然定律是否有效地解释生物现象，对这个问题，卡尔纳普倾向于给以肯定的答案，但他搁起来未予解决。

我们的观点使科学统一性问题解决得更加具体，也更加深入。生物学(以及其他非物理领域)的定律“最终还原”为物理学定律的问题，即究竟能不能建立一个包括所有科学(从物理学、生物学到

社会学)的假设——演绎体系的问题,我们也悬而未决。但是,我们肯定可以为实在的各个不同层次或阶层建立起科学的定律。于是我们发现,从"形式的角度"(卡尔纳普)来说,不同领域的定律和概念系列的一致性和同型性赋予科学以统一性。从"实体的角度"来说,这个世界(可观察现象的总和)呈现出结构的一致性;不同层次或不同领域中结构秩序的同型曲线证明了这一点。

在现代的观念中,实在是有组织实体的庞大的层次序列;从物理系统、化学系统到生物系统、社会系统,高踞于梯级的高层。科学的统一性,并不是把所有科学虚幻地还原为物理与化学,而是来自实在的各个不同层次的一致性。

特别是,自然科学和社会科学之间的差距大大地缩小了,这并不意味着把后者归结为生物概念,而是两者结构上相似。这就是两个领域的一般观点和概念显得一致,并可能最终导致后者建立起定律体系的原因。

机械论的世界观在拉普拉斯思想中达到理想的境界,即一切现象最终都归结为基本物理单元的偶然活动的聚合。

从理论上讲,这个观念不能把物理学之外的领域,即生物学、心理学和社会学等高层次的实在规律,引向精确科学。在实践上讲,它对我们的文明有致命的后果。把物理现象当作实在的唯一标准,这种看法已把人类引向机械化,而且使高价值的东西贬值。物理技术的无控制的统治,把世界领到我们时代的悲剧性的危机。抛弃了机械论的观点之后,我们必须注意,不要滑到"生物主义"去了,即不要只站在生物学的立场上去看心理、社会和文化现象。物理主义把生命有机体看作物理—化学事件的不可思议的组合,或看作机器,而生物主义则把人看作难以理解的动物物种,把人类社会看作蜂房或配种站。生物主义在理论上不能证明其优越性,在实践后果上却证明是极有害的。机体论的观念并不意味着生物观念的片面统治。在强调不同层次的一般结构的同型性时候,同时也宣

称不同层次中特殊规律的自主性和自制性。

我们相信，一般系统论进一步精致化，将是走向科学统一性的重大步骤。它在将来科学中所起的作用，注定要与亚里士多德逻辑在古代科学中的作用相似。古希腊的世界观是静态的，事物被看作永恒的原型或永恒的思想的反映。因此，科学的中心问题是分类，基本的研究方法是定义上位概念和下位概念。在现代科学中，动态相互作用显得是实在所有领域的中心问题。它的一般原理要由系统理论来定义。

第四章　一般系统论的进展

人与猴子的最大区别在于人有创造性思想，应该把它当作比金子还要珍贵的东西而精心保护。

霍尔：《系统工程方法论》

系统科学的发展途径和目标

大约在40年前，当我开始科学生涯的时候，生物学中正进行着机械论和活力论的论战。机械论方法本质上是把生命有机体分解为各个部分和局部过程：器官是细胞的聚集体，细胞是胶体和有机分子的聚集体，行为则是无条件反射和条件反射的总和，如此等等。至于这些部分如何组织起来得以维持有机体的问题、受扰动后的调节问题以及诸如此类的问题都被忽视了；要不然就根据活力论，用灵魂之类的因素（似乎是徘徊在细胞和有机体中的淘气的小妖精）的作用来解释。显然，这只不过是宣告科学的无能。这种情况使我和其他一些人采取了所谓机体论的观点。简而言之，有机体是有组织的东西，我们生物学家必须查明它的真相。在关于有机体的新陈代谢、生长和生物物理等各个方面的研究中，我努力贯彻这个机体论的纲领。在这个方向迈出的一步是所谓开放系统和稳态的理论。它本质上是传统物理、化学、动力学和热力学的扩展。然而，看来我还不应该停止在已取得的这一步上。因此，迈出了更一般化的一步，我把它称为“一般系统论”。这个思想可以追溯到相当早的时候；我第一次提出这个思想是在1937年芝加哥大学查尔斯·莫里斯的哲学讨论班上。但由于那时理论在生物学中声名不振，我也害怕像大数学家高斯说过的“低能儿的叫喊”，因此，我把

草稿锁进了抽屉，直到战后，我才第一次用这个题目公开发表。

但这时却发生了一些有趣的惊人事件。学术气候发生了转变，模型的构造和抽象的概括变得时髦起来了，甚至于有很多科学家已沿着类似的思路前进。因此，一般系统论最终并不孤立，不像我原来认为的那样是个人的嗜好，而是适应了现代思维方式的一种潮流。

有很多新颖的成果打算补充系统的一般理论。简短列举如下：

(1) 控制论，以反馈原理或因果循环系列原理为基础，提供了寻觅的行为和自控制行为的机理。

(2) 信息论，引入了与物理学中负熵表达式同型的可度量的信息概念，并且发展了信息传递的原理。

(3) 对策论，用新颖的数学框架分析两个或多个对手之间的有理智的竞争，以获最大利益和最小损失。

(4) 决策论，基于给定情况及其可能后果的考察，进行与对策论类似的分析，以作出合理的选择。

(5) 拓扑学或称关系数学，包括像网络和图论这样的非计量领域。

(6) 因素分析，即在心理学和其他领域中，通过数学分析把多变量现象的因素分离开来。

(7) 狭义的一般系统论(G. S. T)，把系统定义为相互作用着的各组分的复合体，并从这个一般的定义推导出有组织整体的特有的概念，如相互作用、总和、机构化、中心化、竞争、果决性等等，并把它们应用于具体现象。

广义的系统论具有基础科学特征，同时也与应用科学有联系，有时归于统一的“系统科学”名下。这个发展与现代的自动化密切相关。我们大致上可以区分为如下几个领域(阿科弗，1960 年；霍尔，A. D. Hall，1962 年)：

系统工程，即人机系统的科学规划、设计、估价和构想。

运筹学，即对已有的由人、机、财、物等组成的系统的科学控制。

人类工程，即系统特别是机器的科学的适应性，以取得最大的效率而花费最少的成本和其他费用。

能说明研究“人一机”系统必要性的一个很简单的例子是空中旅行。任何一个坐着高速喷气式飞机进行洲际旅行的人，要花费好多小时等待、排队、有时会困在机场里，他都很容易认识到空中旅行的物质技术已经尽善尽美，但“组织”技术尚处在很原始的水平。

尽管各个领域之间有许多重叠之处，但各自的概念工具大多是不同的。在系统工程中，人们应用控制论、信息论和狭义一般系统论。运筹学的工具有线性规划和对策论。人类工程所涉及人类的能力、生理极限和变异性，它的工具包括生物动力学、工程心理学、人的因素分析等。

本书不打算涉及应用系统科学；霍尔的书可以作为一本优秀的系统工程方面教科书(1962年)推荐给读者。然而我们最好牢记系统方法作为科学中的一个新颖概念，在技术领域中有很类似的东西。

使我假定一般系统论存在的动机可以归结为以下几点：

(1) 迄今为止，实际上只有理论物理学领域符合科学对一般规律的追求，即试图建立一个能解释和预言的规律系统的要求。结果，物理实在被看作科学的唯一恩赐物。结果是还原论假说的提出，其要点是生物科学、行为科学和社会科学都要按照物理学的范式去把握，最终还原为物理层次的概念和实体。由于物理学本身的发展，物理主义和还原论的论点成了问题，真正成了形而上学的偏见。物理学谈论的实体、原子、基本粒子等等比先前设想的要模糊得多，不是形而上学的宇宙砌块而是人创造出来的描述一定观察现象的相当复杂的概念模型。另一方面，生物科学、行为科学和社会科学开始自立了。由于这些领域所关心的一些事情，也由于新技

术的紧迫需要。

科学概念的一般化和模型成为必需，而且在传统物理系统之外的新领域中应运而生了。

(2) 在生物科学、行为科学和社会科学领域中占压倒多数的问题，却被经典科学所忽视，或者根本未被考虑。只要我们观察一个生命有机体，我们就能见到令人惊奇的秩序、组织、在不断的变化中维持自身、调节和明显的目的性。同样，在人类的行为中，寻的性和目的性也是不能忽视的。即使我们站在严格的行为主义的立场上也如此。然而，经典的科学系统中恰恰没有像组织性、方向性和目的论这些概念。事实上，建筑在经典物理之上的所谓机械论世界观，认为这些概念是虚幻的和形而上学的。这意味着，例如对于生物学者来说正好是生命界的特有问题却被置于科学的合法领域之外。描述多变量相互作用、组织、自维持、方向性等方面的概念模型间或物质模型的出现，意味着科学思想和科学研究引入新范畴。

(3) 经典科学基本上是关于两个变量问题，直线因果链，一个原因一个结果，或顶多涉及很少几个变量。典型的例子是力学。它给出了两个天体：太阳与行星间吸引作用的完全解，因此能够精确地预言未来的星位，以至预测出尚未观测到的行星的存在。然而，力学的三体问题已不再能够用原理去求解，只能用近似法来逼近。更现代的原子物理中也存在同样的情况。两体问题，例如质子和电子的问题可以解决(扎哈里亚 Zacharias，1957 年)，但考虑多体问题时麻烦就来了。许多问题，尤其是生物科学、行为科学和社会科学中的问题，基本上是多变量问题，要处理它们就需要引起新的概念工具，信息论的创始人之一威弗在一段常被引用的话中表述了这个思想。他说，经典科学，只涉及直线因果链即二体问题，要不然就是无组织的复合物，后者可以用统计方法处理，最后溯源到热力学第二定律。但在现代物理学和生物学中，有组织的复合物即很多个但并非无限多个变量的相互作用的问题到处都在冒出来，渴望

新的概念工具。

(4) 上面那些话不是出于形而上学的或哲学的考虑。我们不要在无机界和生命界之间划一条鸿沟;考虑到诸如病毒、核蛋白和自复制的单体等中间物,这条鸿沟显然是不适当的。我们也不是断言在原则上“生物学不能还原为物理学”,考虑到生命过程的物理、化学解释的巨大发展,这种观点也是不恰当的。同样,我们也不打算在生物科学、行为科学和社会科学中间划鸿沟。但这并未排除下述情况:在上述领域中我们缺少像在物理学及其应用领域中那样用来解释和预言的合适的概念工具。

(5) 因此,要处理物理学所没有考虑的那些方面,即恰好是生物、行为和社会现象的特征方面,需要扩展科学。这就是说应该引入新的概念模型。

(6) 这些扩展了的和一般化了的理论构思和模型是跨学科性的,即跨越传统的科学部门,能够应用到不同领域的现象上。这是由于不同领域中的模型、一般原理甚至特殊规律具有同型性。

总括地说:在生物科学、行为科学和社会科学以及现代技术学科中,基本的学科概念需要一般化,这就引出了相对于经典的物理学而言的新的科学思维范畴,为此目的面引入的模型具有跨学科的性质。

应注意的重要一点是,上面列举的各种途径不是也不应该被认为是独一无二的。现代科学的思想的一个重要变化就是没有一个唯一的包罗万象的“世界系统”。一切科学构思都只反映了实在的某些方面或某些透视图。这也适用于理论物理学;它远非最高实在的形而上学描述(像旧唯物主义者所断言和现在实证主义仍认为的那样),而不过是这些模型中的一个,面且,最新的研究成果表明,它既非详尽无遗的,又非独一无二的。各种各样的“系统理论”同样也是反映了不同侧面的模型。它们不是互斥的,常常可以组合起来应用。例如,一些现象可以用控制论进行科学探索,另一些人

可以用狭义一般系统论来研究，甚至同一现象的某些方面既可以用这种方式又可以用那种方式来描述。这当然不是排除了而是暗示着进一步综合的希望；现存的朝着“整体”或“组织”理论发展的各种方法可以汇合和统一。实际上，这种进一步的综合如不可逆热力学和信息论之间的综合，已在缓慢地发展。

研究一般系统的方法

阿什比令人钦佩地勾划出系统研究中的两条可能的途径或两种一般方法：

“很容易区分出两条主要的路线。其中之一，把世界看作我们所发现的那样，考察其中出现的各种系统，如动物学的、心理学的系统等等，然后抽出已被观察所掌握的关于规则性的说明。它本质上是经验论的方法，已在冯·贝塔朗菲及其合作者手中发展得很好了。第二个方法是从另一端开始。不是先去研究第一个系统，然后第二个，而后第三个，等等，它跑到另一个极端，考察一切可以想象的系统，然后把这个集合减小到一个更为合理的大小。这是我近来采用的方法。”(1958 年)

显而易见，所有的系统研究都是采用这两种方法中的一种或两者的结合。每一种方法都有其优点和缺点。

(1) 第一种方法是经验——直觉的。它的优点是相当接近实在，可以很容易地借助于个别科学领域中的例子来表述甚至加以验证。另一方面，它缺乏数学的优美性和推理的力量，从数学上来挑剔显得幼稚和不系统。

然而，这个经验——直觉方法的价值是不可低估的。

本书作者提出了许多“系统原理”，一部分写在生物学的理论中，没有明显提到一般系统论（1960 年 a），一部分写在强调地称为这个理论的“大纲”中（见第三章）。这有字面意义上的打算，是为

了引起人们对这一领域的必要性的注意而使用的。表述方式是草图或蓝图式的，用简单的例子来说明方法。

然而现在看来，这个直觉的概述是相当完全的。提出的主要原理，例如整体性、总和、中心化、分化、主导部分、封闭系统和开放系统、果决性、异因同果性、时间上的增长、相对增长、竞争等已被多方应用（如系统的一般定义，霍尔和法根 Fagan，1956 年；生长的类型，基特 Keiter，1951—1952 年；系统工程，霍尔，1962 年；社会工作，赫恩 Hearn。1958 年）。除了为了更清楚起见和由于对象的不同而做的个别词汇的微小改变外，没有增加份量相当的原理——如有增加，那是求之不得的乐事。也许更有意义的是，有人运用这些原理去考察事情但并未提到本书作者工作，因此不能说是受了作者多大的影响。精读比尔（Beer，1960 年）和克伦扬斯基（Kremyanskiy，1960 年）关于原理的书，布雷德利（Bradley）和卡尔文（Calvin，1960 年），关于化学反应网络的书，海尔（Haire，1959 年）关于组织生长的书，等等，都很容易看出他们也在使用"贝塔朗菲原理"。

（2）阿什比沿着演绎的系统理论的途径工作。一个很不正式的关于阿什比推理的描述（1962 年）尤适于供分析用。

阿什比考虑了"机器的基本概念"，并认为那就是："它的内部状态及其环境的状态，唯一地决定了它要进行的下一个状态。"如果变量是连续的，这个定义对应了动态系统的一种描述，即用以时间为自变量的常微分方程组的描述。然而，微分方程组的描述范围有限，不能为处处都存在不连续变量的生物系统和计算机建立理论。因此，现代的定义是"带输入的机器"，它由内部状态集 s、输入集 I 和积集 $I\times S$ 对 S 的一个映射 f 来确定。"组织"就定义为机器状态 S 和条件 I 的规定。如 S 为一个积集，$S=\pi_i T_i$，i 为部分的标号，T 由映射 f 给定，那么阿什比所说的"自组织"可以有两个意义，即：(1)开始时系统的部分为分离的，然后它们之间逐步建立

联系(例如,胚胎的细胞,开始时彼此之间很少甚至没有相互联系,通过树突和突触的形成,出现了高度相互依赖的神经系统。)即"从无组织到有组织的变化"。(2)"从一个坏的组织向好的组织变化。(例如,一个儿童,开始他的大脑组织使他寻火,新的大脑组织会使他避火;一个自动驾驶仪和飞机的配合开始是有害正反馈,后来改善了)。那儿的组织不良,如果能够自动地改变,则称为系统的'自组织'(把正反馈变为负反馈)"。但是,"没有一部机器具有这样的自组织能力"(着重号是作者加的)。适应(例如,稳态的或自编程序计算机的)意味着我们从一个状态 S 出发,然后 f 变为 g,因此组织是一个变量 L 例如一个函数 $a(t)$ 开始的值为 f,然后变为 g。然而,这个变化"不可能用 S 集的原因来解释,因此,它一定来自某个外部力量,作为输入作用于系统 S"(着重号是我加的)。换句话说,只要是"自组织",那么机器 S 一定要和另一个机器配合起来。

我从这段简明的话中,看到了这个方法的局限性。我们完全同意,微分方程的描述,不但是蹩脚的,而且在处理很多与组织有关的问题时在原则上是不适应的。作者对此早有察觉,强调了联立微分方程组决不是最一般的描述方式,只是为了说明才选用(第三章)。

然而,在克服这种局限性时,阿什比引入了另一种局限性。他的系统"现代定义"是如上面复述的"带输入的机器",用一个相当特殊的模型——控制论模型,即一个对信息开放但对熵封闭的系统模型,代替了一般系统模型。当这个定义用于"自组织系统"时,局限性是明显的。特别是,这类系统中最重要的一种——通过渐进分化从低复杂状态向高复杂状态进化而达到"自组织"的系统,在阿什比的模型中没有地位。这种"自组织"确实是最明显的一种,在个体发育中这是明显的,在群体发育中很可能是这样,在很多社会组织中当然亦如此。这里谈不上组织的"好"(即有用、适应性强)或"坏";如阿什比正确地强调,好或坏是相对于环境而言的。分化和

复杂性的增加，不论有用与否，是一个客观的标准，至少是在原则上经得起检验的标准(例如，用熵减少或信息来衡量)。阿什比的论点："没有一部机器具有自组织的能力"，更明确地说，"变化不能归因于 S 集内的任何因素"，而"必定起源于某一外部力量，即输入"，这就等于排除了自分化系统。这样的系统为"阿什比机"所不容，其理由是明显的。根据热力学的道理，朝着复杂性更高(熵减少)方向发展的自分化系统，只可能是开放系统，即系统从外部输入的物质中包含的自由能足以抵消系统因内部的不可逆过程引起的熵增加(用薛定谔的话说是"进口负熵")。然而，我们不能说"这个变化起源于某一外部力量，即输入"，因为一个发育着的胚胎和机体是按照组织的内部规律分化的，输入(例如，数量可以变化的氧气供应，或质可以在很大范围内改变的食物供应)仅在能量上使分化成为可能。

阿什比用另外一些例子说明上述观点。假设一个数字计算机随机地做乘法，则机器会朝着显示偶数的方向"进化"(因为偶×偶和偶×奇都得出偶数)，直至最后只有零"幸存"。在另一篇文章中，阿什比引用了申农的第十定理，说明一个容量为 H 的纠错信道，只能除去量为 H 的模糊信息，不会再多。两个例子都说明了封闭系统的情况；计算机的"进化"是趋向差异消失和建立最大的均匀性(封闭系统中第二定律的类比)；申农的定理同样也是关于没有负熵馈入的封闭系统的。相对于生命系统的信息内容(组织)来说，进口物质(如食物等)带来的是"噪音"而不是"信息"。然而，它的负熵却被用来保持甚至增加系统的信息内容。申农的第十定理显然不能提供给我们这类情况。由于他不是在处理有物质交换的开放系统的信息传递，所以上述情况是可以理解的。

在这两个方面，由于生命有机体(和其他行为、社会系统)朝着分化增加和不均匀性的方向发展，以及比起无生命的信道来具有更高程度的纠正"噪音"的能力，所以生命有机体不是"阿什比机"。

然而，这两方面都是有机体的开放系统特性的结果。

顺便说说，由于类似的原因，我们不能用阿什比的一般化"机器"概念来代替"系统"概念。尽管前者比起经典的定义（机器定义为元件和过程固定安排的系统）更充足些，但反对生命"机器论"的意见仍然成立（贝塔朗菲，1960 年）。

这些意见并不是故意非难阿什比的方法或一般的推理方法，而只是要强调没有通往一般系统论的金光大道。就像任何一个其他的科学领域一样，它不得不靠着经验、直觉和推理手段的配合使用而发展。如果说直觉方法在逻辑严密性和完备性上难孚众望，那么推理的方法则面临着基本项选得是否正确的问题。这并不是某一个别理论和个别科学家的问题，而是科学史上相当普遍的现象。例如，人们也许还记得关于在物理变化中到底力和能量哪一个应被选成常量的长期争论，直到人们认为应选择$\frac{1}{2}mv^2$才止息。

本书作者认为，一般系统论应被当做一个工作假说；作为一个务实的科学家，他主要看理论模型在解释、预言和驾驭那些直到现在未被探索的现象时的功能。别人可以同样有理由强调公理化的作用，并举出诸如概率论、非欧几何和较近的信息论和对策论为例——它们最初是作为推理的数学被发展起来的，然后在物理和其它学科中找到了应用之处。在这一点上不应争吵。两种方法的危险都在于过早地把理论当成封闭的和一成不变的。这对于一个像一般系统论这样仍在探索它的正确基础的学科来说，是一个尤为重大的危险。

一般系统论的推进

关键问题是"新理论"在解决与整体性、目的论等有关的一批问题中的解释和预言价值。当然，学术观念上的转变，从而使人们

能够看到先前忽视的新问题，或者用新的眼光看问题，在某种意义上比单个的和特殊的应用更为重要。“哥白尼革命”不只是有了较好地计算行星运动的可能性，广义相对论不仅是对很小一部分挠头的物理问题的解释，达尔文学说不只是对动物学问题的假说性回答，它们的重要性在于一般参考系的变化（参考拉波波特，1959年 *a*）。然而上述变化最后必须要用那些没有这个理论就得不到的个别成就来证明。

毫无疑问，新的地平线已经出现，但与经验事实的联系却显得十分微弱。例如，虽然信息论被欢呼为一次“大突破”，但在原来的技术领域之外，它的贡献还很欠缺。在心理学中，至今还处于像死记硬背地学习等十分平庸的应用水平上（拉波波特，1959年 *a*；阿特尼弗 Attneave，1959年）。在生物学中，DNA 被称为“编码的信息”，当核酸的结构被阐明时，人们称之为“破译密码”，这里的信息这个词的应用不过是“facon de parler”（表达方式），而不是申农和魏沃尔所发挥的信息论在技术意义上的应用（1949年）。“虽然在计算机设计和网络分析中信息论是有用的，但直到现在它还未在生物学中找到一个重要的位置”（贝尔 Bell，1962年）。同样，对策论是一次在范围上可与牛顿力学和微积分的采用相媲美的新颖的数学发现，但“应用很少而且停滞不前”（拉波波特，1959年 *a*，请参看拉波波特对于信息论和对策论关于这问题的精采分析）。在决策论上也有类似的情形。虽然人们希望从应用系统科学中大获收益，但是就拿大肆宣传的军事和商业对策来说，“在训练、人员选择和论证上实施，还没有核实的评价”。（阿科弗，1959年）

我不能不提到最近发展中的一个危险。过去的（尚有现在的部分的）科学受片面的经验主义支配。在生物学（和心理学）上，只有搜集资料和实验才被认为是“科学的”。把“理论”同“思辩”和“哲学”等量齐观，忘记了仅仅积累资料，尽管连续不断地积累起来，还是不能成为科学。其结果是对建造必要的理论框架缺乏认识和支

持，以及对实验研究本身产生不利影响(在很大程度上，它变成了随机的、漫无目的的努力)(参考韦斯，1962年a)。近年来在某些领域中，人们转向另一个极端。热衷于使用新的数学工具和逻辑工具而到了狂热的程度，为建立模型而建立模型，往往不考虑经验事实。然而，随机的概念实验并不比随机的实验室实验把握更大。用阿科弗的话来说(1959年)，在对策论(及其它领域)中有一种根本的错误概念，人们把实际上只是一个"数学练习"，误认为一个"问题"。人们最好不要忘记康德的箴言：没有理论的经验是盲目的，而脱离经验的理论不过是智力游戏。

控制论的情形多少有点不同。尽管这个领域的巨大发展应从采用"控制论"(cybernetics)这个名字(维纳，1948年)时算起，但这里所应用的模型并不是新的：反馈原理在生理学上的应用应追溯到瓦格纳差不多40年前的工作。从那时起，反馈和自动动态平衡模型已应用于无数的生物现象上，而且不大有说服力地应用到了心理学和社会科学领域。用拉波波特的话说，这种情形的原因是：

"一般说来，在作品的范围与可靠性之间有鲜明的联系。可靠的工作不是局限在工程上就是相当平凡的应用，野心勃勃的描述总是流于模糊。"

自然，这个危险在一般系统论的所有研究途径中都存在。无疑，已经有了一个新的思想指南；但是，前有"平凡"这个岩礁妖魔，后有新数理逻辑的错误解释这个大旋涡，要把握航向是很困难的。

下面的讨论限于"经典的"一般系统论。"经典"并不是指最早或者最佳，只是其中模型所用的数学框架相对于对策论、网络理论、信息论所用的"新"数学而言是"经典"数学。这并不意味着这个理论只是传统数学的应用。正好相反，系统概念提出的问题，有一部分远远没有答案。过去，系统问题引出了重要的数学发展，例如沃尔特拉的积分一微分方程理论，即关于行为不仅依赖于实际条件，还依赖于先前历史的"记忆"系统的理论。当前的重要问题尚等

待进一步发展，例如：关于非线性微分方程、稳态和节奏现象、最小作用原理的一般化、稳态的热力学定义等问题的一般理论。

当然，研究工作是否明确地标上“一般系统论”的名号是不相干的。我们不打算作详尽无遗的评论。如果这部并非自命不凡的著作能够作为这个领域已做的工作以及开辟将来的工作领域的指南，它的目的就达到了。

开放系统

开放系统理论是物理理论即动力学和热力学的一个重要推广。它引出了新的原理和见解，例如异因同果原理、热力学第二定律的广义化、开放系统有序性可能增大、过调和不及(overshoot and false start)的周期现象的发生等等。我们在第五章至第七章中部分地回顾了生物学和有关领域中的广泛工作(为进一步讨论也可参阅布雷 Bray 和怀特 White，1957 年；荣格 Jung，1956 年；莫尔奇奥 Morchio，1956 年；内特 Netter，1953 年，1959 年)。

系统原理除应用于个别有机体外，还应用于群体动态学和生态学(布雷，1958 年)。动态生态学即关于植物群落的演替和演替顶级*的研究，是一个开拓已久的领域，然而显得有流于咬文嚼字和词面争论的趋势。系统方法看来提供了一种新观点。威塔克(1953 年)用开放系统和异因同果原理描述了植物群落走向演替顶级的过程。这位作者认为，从不同的原始植被可以发展到相似的演替顶级，而其不依赖初始条件和发展途径的程度甚至大大超过个别有机体，这个事实是异因同果性的一个惊人例证。帕坦(Pat-

* 演替——某一植物群落被另一群落所替代的过程。是群落内外环境与植物之间相互关系在时间和空间上不断变化和发展的结果。其发展方向是演替顶级。演替顶级——一定地区气候条件下的自然群落最终演替阶段。是处于平衡状态的最稳定的群落。——译注

ten)对以产生生物量为基数的开放系统及其达到的稳态演替顶级作了定量分析。

开放系统理论也在地球科学、地貌学(乔莱 Chorley)和气象学(汤普森 Thompson)中得到应用。他们描绘出了现代气象学概念和贝塔朗菲生物有机体概念的详细对比。人们也许记得,普里高津(Prigogine)在他的经典著作(1947 年)中已经提到气象学可能成为开放系统理论的一个应用领域。

随时间生长

由于上述原因,生长的最简单情形特别切合于不同领域规律的同型性,这就是指数——对数规律。我们举出很多例子中的几个,如关于动物种数的知识的增长(盖斯纳 Gessner,1952 年),关于果蝇的出版物的增长(赫什,1942 年);制造公司(海尔,1959 年)的增长;博尔丁(1956 年 *a*)和基特(1951—1952 年)着重地指出了生长的一般理论。

贝塔朗菲(和其他人)关于动物生长的理论,由于使用了整体的生理参数(合成作用,分解作用),既可以归入一般系统论,又可归入生物物理学,它被人们在各方面的应用中加以探索(贝塔朗菲,1960 年 *b*)。

相对生长

一条非常简明和一般的原理是关于系统内组分的相对生长。异速增长的简单关系可以用到生物学的许多生长问题上去(形态学、生物化学、生理学、进化论)。

在社会现象中,人们可以得到类似的关系。社会分化、原始社会的劳动分工以及城市化(即城市相对于农村人口的增长)均服从异速增长方程。后者的应用提供了一个社会组织化程度和发展程度的定量标准,适于代替通常的直觉标准(纳罗尔 Naroll 和贝塔

朗菲，1956 年）。类似的原理显然可应用于制造公司的职员数相对于全体雇员的增长率（海尔，1959 年）。

竞争及有关现象

沃尔特拉、洛特卡、高斯和其他人在群体动态学方面的属于一般系统论的工作，第一次说明我们可以给那些通常用经验标准来衡量的如“生存竞争”之类现象建立概念模型。群体动态学和有关的群体遗传学从此变成了生物学研究的重要领域。

应该指出，这类研究不仅属于基础生物学，而且属于应用生物学。水产生物学就是这样，它那里的理论模型是用来为海洋的开发制定最佳条件的（更重要的模型见瓦特 Watt，1958 年）。最精致的模型是由贝佛顿 Beverton 和霍尔特 Holt 为水产品的商业开发的鱼口而建立起来的，但当然可在更广范围内使用。这个模型考虑了新生（即个体进入种群）、生长（假设遵从贝塔朗菲生长方程）、捕获（通过开发利用）和自然死亡。这个模型被联合国粮农组织、英国农业渔业部和其它政府机构采用为日常应用的模型，从面显出其实用价值。

里查森（Rjchardson）关于军备竞赛的研究（1957 年，1960 年），虽有缺点，仍戏剧性地说明了系统概念对我们时代大家最关心的问题可能发生的影响。如果理智和科学的考虑能起作用的话，这倒是反驳“Si vis pacem para bellum”（若要和平就得准备战争）这类时髦话的一种方式。

用于群体动态学、生物的“生存竞争”、计量经济学和研究军备竞赛（以及其他）的公式，都属于同一族方程（第三章中讨论过的方程组）。系统地比较和研究这些平行性是饶有趣味的和很有价值的（参看拉波波特，1957 年）。例如，人们可以猜到，支配经济循环的定律和沃尔特拉的群体涨落定律，是从相似的系统竞争和相互作用的条件导出的。

博尔丁用一种非数学方式讨论了他称为社会组织的"铁的规律"：马尔萨斯定律、组织最佳规模定律、存在周期定律和垄断定律等等。

系统工程

统一体的组分本质上的差异很大——人、机器、建筑物、货币和其他价值、原材料的流入、产品的流出以及很多其他项目，却可以成功地接受系统分析，这个事实使人们对系统工程和运筹学的理论兴趣大增。

上面说过，系统工程以控制论、信息论、网络分析以及流程图和框图作为方法论工具。一般系统论的原理也参与（霍尔，1962年）。首先使用的方法当然是关于结构固定的、类似机器的那些方面（就信息论来说是是或否的决策），然而人们可以预期一般系统论会在动态方面、灵活的组织的研究上获得越来越重要的地位。

人格理论

尽管在人脑和计算机相比较的基础上有许多用控制论的思想路线建立起来的理论模型，却很少有人试图把狭义的一般系统论应用到行为科学中去（例如，克雷奇，1956年；门林格尔，1957年）。实际上，一般系统论可能更接近于人格理论。

我们在一开始就应认识到人格理论在目前是一个派别林立和争论颇烈的战场。霍尔和林德泽（Lindzey）公正地评论道："关于行为的所有理论都是相当蹩脚的，就科学证明来说，都难孚众望。"这是在一本近六百页的《人格理论》书中说的。

因此，我们不能期望一般系统论能够解决从弗洛伊德和荣格到大批现代作者所不能解决的问题。如果它给出能用于实验和实践的新看法和新观点，就显示了它的价值。看来情况会是这样的。确实有一群心理学家们正在研究着人格的机体理论，歌德斯坦

(Goldstein)和马斯洛(Maslow)就是著名的代表。

当然,存在着一个根本问题,首先,一般系统论本质上是不是一种物理主义的比喻,从而能不能应用于心理现象? 其次,心理现象中有关变量一般不能定量地确定,那么,这样的模型有没有解释的价值?

(1) 对第一个问题的回答是:系统概念有足够的抽象性和一般性,从而可应用于无论什么名称的实体。“平衡”、“自动动态平衡”、“反馈”和“应激”等概念,都起源于技术学和生理学,但却多少成功地应用到心理学现象上。系统学者们一致认为“系统”的概念并不局限于物质实体,也可以应用到任何由相互作用的“组分”组成的“整体”。

(2) 如果定量化是不可能的,甚至系统的组分难以定义,我们也至少可以期望把一些原理定性地应用到系统整体上。至少,“从原则上解释”是可能的。

考虑到这些局限性,一个也许会被证明为关键性的概念是有机体作为一个自发的主动系统的机体论概念。用本书作者的话说:“甚至在恒定的外部条件和没有外界刺激的情况下,有机体也不是被动的,而是本质上主动的系统。这尤其适用于神经系统的功能和行为。看来内部主动性比对刺激的反应更为基本。这可以在低等动物的进化和胚胎及胎儿的最初运动的发育等两个方面而得到证明。”(贝塔朗菲,1960 年 *a*)

这与冯赫斯特所谓的神经系统的“新概念”相符。他的根据是原始位移活动是由不依赖于外界刺激的中枢自动性引起的。因此,例如当运动神经和感觉神经间的联系被切断以后,这种运动仍然保持着。从而,经典意义上的反射不再是行为的基本单元,而只是在原始的自动活动上叠加的调节机制而已。类似的一个概念在关于本能的理论中起着基本的作用。洛伦兹(Lorenz)认为,先天释放机制(I. R. M.)起着支配作用,它在没有外界刺激的情况下时而表

现出来(真空反应或空转反应);一个没有筑巢物质的鸟也许会在空中表演建巢的动作。这些见解包含在黑伯(Hebb,1955年)称为"1930—1950中枢神经系统的概念"的框架中。最近关于大脑激活系统的深入研究以及丰富的实验证据从不同的方面强调了中枢神经系统的自主活动这个基本概念。

当我们考虑到上述概念同传统的"刺激一反应"图式——即假设有机体在本质上是像自动机一样的反应系统来回答外界的刺激——形成鲜明对照时,它的重要意义就显而易见了。"刺激-反应"图式在现代心理学中的统治地位毋需强调,它明显地同一个高度机器化社会的"时代精神"密切相关。这个原理在心理学中是基本的理论,但在其他领域中,如行为主义心理学和心理分析中则相反。弗洛伊德(Freud)认为,生物体的最主要趋向是摆脱紧张和驱力,达到并停留于由"稳定性原则"支配的平衡态。这个"稳定性原则"是从德国哲学家费希纳(Fechner)那里借来的。因此,神经和心理的行为是一种趋于恢复某种平衡的多少有效的或发育不全的防御机制(引自拉波波特关于心理分析理论的结构分析:"经济的"和"适应性的"观点)。

著名的儿童心理学家夏洛特·比勒(Charlotte Bühler),恰当地概括了理论上的处境:

"在基本的心理分析模型中,只有一个根本趋势,即需要满足或紧张减弱。今天的生物学理论强调了由有机体固有能力引起的自发性活动。贝塔朗菲强调了有机体的自主运行,它是完成某些运动的驱力。……这些概念完全修改了原始的自动动态平衡原理,那个原理只是强调走向平衡的趋势。心理分析在理论上与原始的自动动态平衡原理是一致的,把紧张的释放作为最主要的趋势。"(着重号是我加的)

简而言之,我们的观点可定义为"在动态平衡原理之外":

(1)"刺激—反应"图式忽略了游戏、探索活动、创造性、自我

实现等领域；

（2）经济的图式正好忽略了人类特有的成就，其中的大部分可粗略地称为“人类文化”；

（3）平衡原理没有考虑到生理学的和行为学的活动不只是为了使紧张变为松弛。松弛远远不能建立一个最佳状态，而可能引起与精神病类似的失调，如感觉剥夺实验所表明的那样。

刺激—反应和心理分析模型看来是人性的一幅很不真实的图画，其后果是相当危险的。我们认为是人类特有成就的东西很难用功利主义的、自己动态平衡的和刺激—反应的图式来解释。人们也许会把伴随着抒情诗和奏鸣曲的登山运动称为“心理自动动态平衡”，而且人们确实这样叫了，但是总不免冒着使这个有着确切的心理学定义的名词丧失其全部意义的危险。进一步说，如果把保持动态平衡的原则当作行为的最重要准则，那么所谓顺应的个人，便成为终极目标，那就是把自己保持在生物的、心理的和社会的自动动态平衡上的一个加好润滑油的机器人。这正是《华丽的新世界》，而不是、至少不完全是人性的理想状态。还有，不稳定的精神平衡绝对不能受到干扰，因此，在令人啼笑皆非的循序渐进的教育中，小心翼翼地不使孩子们负担过重，不给孩子们加压力，尽量减小指导性的影响，其结果是前所未闻的大量文盲和青少年犯罪。

与传统理论相反，我们可以有把握地宣称，不仅压力和紧张，而且完全解除刺激和随之而来的精神空虚，同样可导致神经病或精神病。下面实验证实了这一点：剥夺感觉从而同外界刺激完全隔离的实验对象，几小时后就出现幻觉、难忍的焦虑等所谓典型的精神病。临床上也表明：隔离导致囚犯的精神病，隔离在病房的病人加重了精神疾病。相反，最大压力未必产生精神错乱。如果经典理论是正确的，那么二次大战期间和战后的欧洲，在极度的生理和心理压力下，早应成为一个大精神病院。事实上，除了像好斗狂这样容易理解的急性精神错乱外，统计表明无论神经失常或精神失常

都没有增加(见第九章)。

从而得到如下观点:生物和人类的一大部分行为不能包括在功利主义的、自动动态平衡的和刺激—反应原理中。而且这点正是人类活动和文化活动的特征。这个新观点不仅在理论上,而且在精神卫生、教育和社会总体的实践意义上打开了新思路(见第九章)。

可以用哲学术语表达上述说法。如果存在主义者谈到人生的空虚和无聊,如果他们看到人生不仅是忧虑而且是真正的精神疾病的源泉,那么,这些说法本质上与下述观点相同:行为不只是生物驱力的满足和心理、社会平衡的保持,而且包含更多的东西。如果工业化社会中的人生变得难忍的空虚,人们怎么会不得神经病呢?可粗略称为"机体的心物自发活动"原理,是一个更逼真的表述,即存在主义者想用他们的晦涩语言说出的思想。如果像马斯洛和加德纳·墨菲(Gardner Murphy)这样的人格学家谈到人类的目标是自我实现,这也不过是同一原理的多少有点夸大的表述而已。

理论历史学

我们终于开始讨论被称为人类文化和文明的这个难以定义的最高实体。这是经常被称为"历史哲学"的领域。也许我们可以更适当地称之为"理论历史学",使用这个名字的目的是要在"科学"和"人性"之间,尤其是在社会科学和历史之间,建立联系的环节。

当然,人们知道社会学和历史学所用技法是截然不同的(投票和统计分析,相应的是古物研究,史料的内在证据分析,等等)。然而,研究的对象却基本相同。社会学所关心的基本上是在时间的横断面上人类社会的现状;历史学则做社会如何变化和发展的"纵向"研究。研究的对象和技法不同,当然说明实际做法上的差别是对的;然而,不那么明显的是,也为根本不同的哲学辩护。

最后一句话已经牵涉到了由维科、黑格尔、马克思、施本格勒、

汤因比以宏伟的形式提出的历史理论构想问题。专业的历史学家们，最好的时候把历史当成诗，最坏的时候痴心妄想地把历史事实塞进普罗克拉斯提斯床*式的理论中去。看来历史学能从系统学得到的不是终极的解答，而是坚实的方法论观点。直到现在被人们认为属于哲学或形而上学领域内的那些问题完全可以在它们的科学的意义上用最近研究成果(如对策论)的一些有趣的观点加以定义。

经验上的批评不在我们的研究范围之内。例如，盖伊尔(Geyl，1958年)和其他许多人分析了汤因比著作中对历史事件的明显歪曲。甚至非专家的读者也很容易在汤因比巨著《高贵的魔鬼》中挑出一系列错误。然而，问题比事实及对其理解的错误，以至马克思、施本格勒或汤因比理论的功过问题都要来得大。它是历史学在原则上是否允许有模型和规律存在的问题。

很多人坚信答案是否定的。这就是科学中的"唯名论"观点和历史学中的"个人描写"方法。自然科学能在不同程度上为自然事件建立"定律"，而历史则关系到很可能由个人自由意志决定的有极度复杂因果关系的人类事件，只能或多或少地满足于描写过去发生的事情。

方法论家在这里有主要的发言权。在刚才所概述的形势下，学院式的历史谴责历史的理论构思是"直觉的"、"与事实矛盾的"，"任意的"等等。而且，这种批评对施本格勒和汤因比来说无疑是相当不好应付的。然而，如果我们读一读传统的历史描述学家的著作，这种批评就多少不那么令人信服。例如，以上述方法论观点拼命反对汤因比的荷兰历史学家彼得·盖伊尔，同样写了一本出色的关于拿破仑的书，这本书出现了一打左右关于学院历史学中所

* 希腊神话中开黑店的强盗，传说他抓人后，使身高者睡短床，斩去身体伸出部分，使身短者睡长床，强拉其身体与床齐。——译注

记载的拿破仑的性格和生涯的不同解释——我们可以放心地说，模型，——都是以“事实”为基础的(恰巧拿破仑的时代是文献记载最完全的时代之一)，都毫不含糊地互相矛盾。粗略地说，从把拿破仑当作一个暴君和人类自由的敌人到把他当成一位统一欧洲的聪明规划者；如果某人是拿破仑的研究者(就像本书作者恰好是一个小小的研究者)，他可以很容易地找出文件来驳斥公众接受的正史上的错误观点。两种方式是不相容的。如果连拿破仑这样一个不太久远但又有着最丰富的历史文献记录的人物，尚可有互相矛盾的解释，你就不能责怪“历史哲学家”们在处理包罗万象的历史的大量现象的直觉方法和主观倾向等等。在所有两种情形下你都只是得到了一个代表某些方面的概念模型，从而是单方面的甚至是片面的观点。

因此，历史学中概念模型的构思不仅是许可的，而且事实上是解释历史的基础，以区别于编年史和年鉴那样的单纯的资料积累。

假定这是正确的，那么在“个人描写”和唯名论的研究方法间的对立就变成了心理学家们习惯称之为“分子的”和“容模的”方法对立。人们可以分析复杂整体内的事件，例如有机体内的个别化学反应，心理的个别知觉；或者，人们可以在第一例中寻找发育和生长的整体规律，在第二例中寻找整体个性。对历史学来说，这意味着对个人、条约、艺术品、单个的原因及其结果等加以详细的研究；或者，抱着找出伟大规律的希望，考虑通盘现象。当然，存在着处于第一种见解和第二种见解间的各种过渡；一个极端是卡莱尔*及其英雄崇拜主义，另一个极端是托尔斯泰(一个比公众看法要伟大得多的“理论历史学家”)。

---

* 卡莱尔(Thomas Carlyle，1795—1881年)英国作家、历史学家、哲学家。在前期著作中批评资本主义制度，但蔑视劳动人民，反对暴力革命，主张将社会领导权交给少数“精神贵族”。——译注

因此,“理论历史学”的问题基本是这个领域的“容模”模型;而这正好是剥掉了哲学外衣的历史学理论构思。

对上述模型的评价一定要遵守证实和证伪的一般规则。首先,应考虑经验基础。就这个特殊例子来说,问题在于有数的几个文化——顶多 20 个左右,——是否能为建立合理的一般化模型提供充分的和有代表性的样本。这个问题及所提出的模型的价值问题可根据如下的一般标准来回答:模型是否具有解释和预言的功能,即是否给已知的事实提供新思路而且正确预言过去和未来所不知道的事实。

这些见解虽然是初步的,却易于清除许多误解和笼罩在这个问题上的哲学迷雾:

(1) 上面已指出,对模型的评价只应重实效,即根据其解释和预言的价值(或缺乏这些价值)来评价;事先并没有考虑人们是否喜欢它,也没有考虑它的道义后果。

这里我们遇到多少有点独特的情况。对于“同时规律”,即在某一固定时刻支配社会的规律性,人们很少异议;事实上,除了经验的研究之外,它还是社会学的目标。对于某些“历时规律”,即时间上发展的规律性,如关于印欧语系演化中辅音变化的格里姆(Grimm)定律,人们也不反对。人们熟知,个别的文化领域,如希腊雕塑、文艺复兴时代绘画和德国声乐,存在着不能用特殊的外部原因来解释的某种“生命周期”,即原始、成熟、形式的变态分解以及最终的衰败等各个阶段。实际上,这种“生命周期”甚至在生物进化的某些现象中也有其对应物,如菊石和恐龙的演化,第一个爆发阶段形成新的类型,接着一个阶段物种分化,最后是衰败阶段。

可是,把这个模型应用到文化整体上,便招来了强烈的批评。这是一个合法地位的问题——为什么社会科学中相当不真实的模型常能博得学术界的青睐,而历史学中的模型却受到怒气冲冲的抵制呢?姑且承认对施本格勒和汤因比的一切批评是有事实根据

的，但是感情上的因素很显然也掺杂进去了。科学的大道上铺满了病死的理论尸体，它们正在腐烂或作为木乃伊保存于科学史博物馆中。与此不同，历史学的理论构思尤其是历史周期理论似乎触上了一根裸露的神经，因此反对意见比对通常的科学理论的批评多得多。

(2) 感情因素的卷入同"历史必然性"问题及想像人类"自由"会降低的问题有联系。在讨论这个题目之前，我们应先讨论一下数学的和非数学的模型。

人们熟知社会科学中数学模型的优缺点。(阿罗 Arrow，1965年；拉波波特，1957 年)。每个数学模型都是"过分简化"的，人们不禁要问它是抓住了真实事件的骨架，还是割去了解剖体上的极其重要部分。另一方面，就目前来看，它使我们能够借助于必要的推理得到一些出乎一般"常识"的结果。

特别是拉舍夫斯基，他在一些研究中指明了如何构造历史过程的数学模型(拉舍夫斯基，1951 年，1952 年)。

另一方面，不可低估纯粹定性模型的作用。例如，"生态平衡"的概念的提出远远早于沃尔特拉等人的数学模型；选择理论早已成为生物学的"存货"，而"生存竞争"的数学理论却比较晚，且远未在野生条件下被证实。

对于复杂的现象，借助定性模型作"原则上的解释"(海克，1955 年)比根本没有解释要好。这一点绝不限于社会科学和历史学，同样适用于如气象学或进化论那样的领域。

(3) "历史必然性"——柏林爵士著名论文的题目，是一种不复存在的世界观的幻影。它被人们当作"理论历史学"的结论来害怕，似乎同我们有自由选择权利的直接经验相反而且排除了所有的道德标准和价值标准。正如柏林强调的，它建筑在拉普拉斯决定论的基础上。能够通过决定性规律，由过去完全地预言未来。这与现在"自然规律"概念毫无共同之处。所有"自然规律"都具有统计

的特征。它们不能以铁的规律预言确定的未来，而只能预言某些概率；这些概率取决于事件的性质和所用的定律，可以接近必然或远低于必然。在历史理论中追求或害怕比气象学和经济学等较复杂的科学更高程度的“必然性”，是没有意义的。

似乎是矛盾的说法，“自由意志”这个原因只有直觉乃至十分直接的经验做证据，永远不可能客观地被证明(是拿破仑的自由意志把他引到俄国战场吗?)；而决定论(统计意义上)则可以被证明，至少在小尺度的模型内如此。商业诚然取决于企业家本人的“首创精神”，个人的“决策”和“责任性”；经理是否多招职员以扩大营业的选择自由同拿破仑是否在莫斯科决战的选择自由并无二致。然而，当我们分析工业企业的增长曲线时，就可看到“任意的”偏差会很快回到正常曲线，好像无形的力量在起作用。海尔写道：“回到早期增长所预示的曲线，说明了不可抗拒的力量在社会机体上起作用。”(1959 年)

柏林的特色是他有如下观点：“似乎历史决定论的缺陷在于它与常识以及对人类日常生活的观察之间绝然不相容。”这无异劝告人们不要接受哥白尼体系，因为人人都看得见是太阳而不是地球从早到晚在运动。

(4) 数学的最新发展甚至可以把“自由意志”——显然是对科学分析阻碍最大的哲学问题——归结于数学研究。

根据一般系统论，可以对容模的和分子的、唯名论的和“个人描写”方法间的抉择给出确切的含义。系统规律可用于大量行为，如可以数学化就采取前述的理查森用过的那类微分方程的形式(参考拉波波特，1957 年)。相反，个人的自由选择可用对策论和决策论的那类性质的公式来描写。

不喻自明，对策论和决策论是“合理的”选择。这指的是“对个人最有利的或最满意的”选择，即“个人可自由地在几种可能的行动路线间进行选择，并根据它们的后果作出决策”，“在获知他的动

作的所有可想到的后果后，选择名列前茅的动作”，“在其它条件相同时，选择更多的产品而不是更少”等等(阿罗，1956年)。可以用任何更高的价值来代替经济收益代入式中而不改变数学表达式。

“合理选择”的上述定义包括了“自由意志”的一切可能的含义。如我们不想把“自由意志”同完全的任意性、无任何价值标准及由此而来的完全无意义的动作(正如哲学家们偏爱的一个例子：我有全部的意志自由去决定是否摇动我的左手小指头)等同起来，它就是道德家、牧师和历史学家所关心的“自由”动作一个相当好的定义；在洞察形势和后果的基础上，在价值观的指导下，就可供选择的事物作出自由的决策。

要把理论应用于那怕很简单的实际情况，也是困难重重的。建立总体规律的困难就可想而知了。然而，在没有明确的表达式情况下，可以对两种方法作一原则上评价——引出了意外的矛盾。

“合理性原则”，与其说适合于大多数人类动作，不如说更合适于动物的“非推理”行为。动物和一般的有机体确实按照“比例形态学”来行事，使维护、满足、生存等达到最大值。它们一般选择生物意义上的最佳方案，对某些东西(如食物)是越多越好。

另一方面，人类的行为远不是合理的。甚至不必引用弗洛伊德的话，就能说明在人身上合理行为的范围多么小。女人在超级市场中，一般不是得利最大，而是受着广告商和包装人的影响。她们并不事先探索各种可能性及其后果，然后作合理的选择；她们甚至不愿要量较大但包装不起眼的商品而宁愿要量较少但用样式诱人的大红盒子包装的商品。在我们的社会中，广告商、动机研究者等人的主要工作就是专门使人们的选择不合理，他们基本上靠把条件反射、无意识冲动等生物因素同符号价值组合起来以达此目的。

认为这类不合理行为仅与日常的简单行为有关，是没有什么道理的；同样的原理也适用于“历史性”的决策。“三十年大战”期间的瑞典首相奥森斯蒂纳(Oxenstiena)这个精明鬼，完整地表达了

这点："Nescis, mifili, qnantiua ratione mundus regatur"——我的孩子，你不知道世界上的事情没有多少道理可讲啊。读读报纸和听听广播就很容易发现这句话对 20 世纪或许比 17 世纪更适用。

从方法论上说，这引出一个值得注意的结论。假如我们要应用两个模型中的一个，并且像地质学和进化论那样在历史学中采用了"现实性原则"作为基础（即：除了那些我们可以观察到在起作用的原则外，不应该用任何其它原则作解释），那么只有经验事件支持的统计性模型或大量事件的模型。动机和民意研究者、统计心理学家的工作，基于如下假设：能够从人类的行为中得出统计规律，因而，一个虽然小但却精心选择的样本允许把规律外推到考虑范围内的全体居民。盖洛普民意测验及它在一般情况下精确的预言，验证了这个假设；虽然夹杂着统计性预言都有的偶尔失误，如众所周知的杜鲁门选举。经验事实很少支持相反的观点，即历史被哲学意义上的"自由意志"（即为了更好、更高的道德价值甚至明显的个人兴趣而作的合理选择）所支配。历史的特点是在这儿或那儿被"粗野的个人主义者"破坏了的统计规律。历史上"伟人们"的作用并不同历史学上的系统观念相矛盾，他们可被想象为在历史过程中起"主导部分"、"触发器"、或"催化剂"的作用。后面那些现象已由一般系统论说清楚了。

（5）进一步的问题是被历史学家们同声谴责的"机体类比"。他们不倦地反对施本格勒关于文明是按其内在规律诞生、发育、以至死亡的某种机体的断言，认为这是"形而上学的"、"诗一般的"、"神话般的"和完全不科学的。汤因比煞费苦心地强调他并未坠入施本格勒的陷阱，虽然他把发育当作相当严格的时间扩展，也很难看出他的由"交接"、"外显"等生物关系连贯起来的文明不是机体式的概念。

生物学家们最明白文明不是"机体"。很明显，生物体即时间和空间上的物质实体和统一体，不同于由互不相同的个人组成的社

会团体，更不同于由几代人、物质生产、机构、思想、价值等组成的文明。如果认为维科、施本格勒（或任何一个正常人）没有认识到这个明显的区别，那是严重地低估了他们的智力。然而，注意到如下一点是有趣的：与历史学家们的犹疑不决成对照，社会学家们并不厌恶“机体类比”，而认为理所当然的。例如，拉波波特和霍瓦斯（Horrath）说：

“把一个真实的组织看作一个机体是有一定意义的，因为我们有理由相信这种比较不必是华而不实的比喻性类比，不像学术界曾流行一时的关于国家的思辨性研究那样。组织确实有类似生物的功能。如它们能自我维持、有时还能复制或变态；它们对外界压力的反应、年龄的增长、衰亡等。组织有着可辨的解剖结构，而且至少那些有物质输入的组织（如工业组织）具有生理学的功能。”（1959 年）

又如杰弗里·维克斯爵士（Geoffrey Vickers，1957 年）说：

“机构自我生长、自我修复、自我复制、衰败、分解。从外部关系上看，他们表现出许多有机生命的特征。某些人认为在内部关系上，人类机构也注定要逐步器官化，人员间的合作愈来愈接近于体内细胞的综合关系。我觉得这种前景是不可信的也是不愉快的。”（注：与著者所见略同。）

还有海尔：

“社会组织的生物模型——这里尤其是工业组织——意味着把生命有机体和调节它的生长和发育的过程和原理当做模型。它意味着在组织的生长中寻找规律性的过程。”（1959 年）

简单生长规律能用于诸如制造公司等社会实体、用于城市化、劳动分工等各方面，这些事实证实了“机体类比”在这些方面是正确的。尽管历史学家们的反对，理论模型尤其是动态的、开放的和适应系统的模型，在历史过程中的应用肯定是有意义的（麦克莱伦，McClelland，1958 年）。这并不意味着“生物主义”，即把社会概

念还原到生物概念，而说明系统原理能在两个领域应用。

(6) 尽管一切异议是理所当然的，如方法的蹩脚，与事实的差距，历史过程的高度复杂性，我们还是不得不承认历史的周期模型通过了科学理论最重要的检验。施本格勒在《西方的衰落》中，汤因比在预报“动乱和争斗时代”中，格塞特(Ortegay Gesset)在《大众的暴动》中，还有《华丽的新世界》和《1984》中所做的预言，已令人不安地得到证实。这些预言远远优于许多社会学家们的相当不错的模型。

这是否意味着“历史必然性”和不可抗拒的毁灭？道德化和哲学化的历史学家们又一次找不到简单的答案。通过以往文化的外推，没有人能预言工业革命、人口爆炸、原子能的发展、不发达国家的出现、西方文化的全球扩展。这是否驳倒了所谓历史模型或“规律”?不，这只说明它像科学中的任何模型一样，只反映了实在的某些方面或侧面。任何模型当犯了“凡是”的错误时都是危险的。这不仅毁坏了“理论历史学”，而且毁坏了机械论世界图景的模型、心理分析的模型以及其它许多模型。

我们希望这个综述能说明一般系统论为科学理论的扩展作了贡献，导致新的见识和原则，提出“可供探讨”即能用实验和数学的研究解决的新问题。目前状态下理论及应用的局限是显然的，但各个领域的应用似乎说明原理是过得硬的。

第五章　看作物理系统的有机体

有机体是开放系统

物理化学是化学系统中的动力学和平衡理论。例如，考察一下生成酯的可逆反应：

$$C_2H_5OH+CH_3\cdot COOH \rightleftharpoons CH_3COO\cdot C_2H_5+H_2O,$$

我们就会看到左边的乙醇和乙酸之间，以及右边的乙酸乙酯和水之间，总是形成某种定量关系。

应用物理化学的平衡原理特别是化学动力学和质量作用定律解释生理过程，证明有十分重要的意义。血液的功能就是一例。血液从肺脏把氧气运送给机体的细胞组织，并且反过来把细胞组织中生成的二氧化碳运送给肺脏呼出去。血红蛋白、氧合血红蛋白和氧按质量作用定律达到平衡的过程及其定量表述，不仅指血红蛋白溶液中的简单情况，而且也可以针对脊椎动物血液中更复杂的情况来讲。关于酶反应、呼吸和发酵等等的动力学研究，其重要性是众所周知的。同样，其他的物理化学平衡（分布、扩散、吸附、静电平衡）在生理学上也都有重大意义（参看：莫泽尔 Moser 和莫泽尔—埃格 Moser-Egg，1934 年）。

把有机体看作整体，它就表现出与平衡态系统相类似的特征（参看兹瓦尔德梅克 Zwaardemaker，1906、1927 年）。我们发现，细胞和多细胞有机体有确定的构成和恒定的组分比，起先它的组分分布状态和化学平衡态系统很相似，而且它在不同的外部条件下，在受到扰动后，在机体大小不等的情况下，能够在很大程度上维持

其构成和组分比，也就是说，构成与组分的绝对数量无关，受到扰动后有调整的能力，在变化的外部条件及变化的营养等情况下保持其构成的恒定性。（参看贝塔朗菲，1932 年，1937 年）

然而，我们立刻认识到，虽然在有机体中可能有一些系统处于平衡态，但是这样的有机体并不能看作一个平衡态系统。

有机体不是封闭系统，而是开放系统。我们把没有物质输入或输出的系统叫做“封闭”系统，而把有物质输入或输出的系统叫做“开放”系统。

因此，在化学平衡和新陈代谢的有机体之间存在着根本的差别。有机体不是一个对外界封闭并且总是包含着同一组分的静态系统，它是一个准稳态的开放系统，不断从外界环境输入物质又不断向外界环境输出物质，其组分的物质和能量不断改变但其质量关系保持恒定。

有机体是处于稳态（说得更确切些，准稳态）的系统，这个特征是它的基本判据之一。一般说，生命的许多现象可以看作是这个事实的结果。在一个较短的时间间隔内考察有机体，它表现为一个通过交换其组分而维持稳态的构造。这对应于普通生理学的第一个主要领域，即有机体在化学和能量方面新陈代谢的生理学。叠加在稳态上的是较小的波动过程，基本上分为两类。第一类是系统自身产生的因而是自律的（autonomic）周期性过程（例如，呼吸、循环、消化器官的不随意运动；神经中枢和大脑的不随意律动和电活动，想必是由于有节奏的化学释放；有机体整体的不随意运动）。第二类是有机体稳态的可逆涨落，对环境的临时变化和“刺激”作出反应。这是由外部条件引起的因而是他律的（heteronomic）过程群，属于兴奋生理学。这些过程可以看作稳态的暂时扰动，有机体从扰动状态又回到“平衡态”，回到平衡的稳态。这种考虑已证明是有用的，并已导出定量的表达式（参看 55 页）。最后，把有机体的状态定义为稳态，这仅仅在一级近似下，在我们设想的“成熟”有机体的较

短时间间隔的限度内才能成立;例如我们研究新陈代谢就是这样设想的。如果我们取整个生命周期,那么过程就不是稳定的,而只是准稳定的,假定过程变化得足够慢,我们就可以从中提取研究所需要的东西,包括胚胎发育、生长、衰老、死亡等等。这些现象可以不十分详尽地用形态发生这个术语来概括,是普通生理学第三大类问题。这种见解在可以使用定量表述的领域里证明是特别有用的。

-般说来,物理化学几乎只限于研究封闭系统内的过程。正因为这样,人们熟知的物理化学公式,特别是质量作用定律,仅适用于定义封闭系统中的真实化学平衡态。化学平衡对诸如转换反应的适用性,是基于这些反应是达到平衡态的快速离子反应。物理化学很难把开放化学系统考虑进去。动力学只适用于封闭系统,这种限制是可以理解的,因为建立开放系统在技术上极为困难,而且在纯物理考虑中并不特别重要。尽管如此,这种装置还是容易想象的,例如在反应 $a \rightleftharpoons b$ 中,用适当手段(沉淀,通过一个只能让 b 透过而不让 a 透过的隔膜进行渗析,等等)不断地把从左到右的反应生成物 b 取走,同时不断向系统中加入 a。这种类型的系统不时出现在工艺化学中,醋酸生产的连续发酵法就是这里所说的"开放化学系统"的一个实例。

不过,这种系统对生物学家来说却极为重要。因为开放化学系统确实以生命有机体的形式存在于自然界中,这些有机体以不断交换其组分的方式来维持自己。"生命就是一个多相系统中的动态平衡"(霍普金斯,Hopkins)。

因此,我们需要一个所谓恒定平衡(即组分改变而构成不变)的定义,就像物理化学熟知的公式定义封闭系统中的真正化学平衡那样。

显然,在有机体中,反应系统和反应条件比起通常在物理化学中碰到的系统来远远要复杂得多。这是数目异常巨大的组分之间

的反应。况且，细胞和有机体不是匀质系统（真溶液），而是高度不均质的胶状的系统，以致反应不仅依赖于质量作用，而且还依赖于吸附、扩散等许多物理化学因素。甚至在试管中的酶反应一般说来也并不简单地遵守质量作用定律。在这样的情况下，很清楚，即使在简单的有机体系统中也不能用封闭系统的方程组来描写，只有对隔绝的局部系统才可能这样做。不过，下面这些事还是可能办到的：首先，不管系统的特殊性质，说明开放系统的某些一般原理；其次，鉴于有机体中甚至单个细胞中反应的数目极为庞大，要追踪单个的反应是不可能的，但是仍然可以用公式来表示许多不可计算的甚至未知的过程的统计平均值。这种处理方法已在化学中应用，即将一个总公式用于由无数步反应组成的反应。同样地，代谢生理学和生物动力学中的平衡方程也是以中间代谢中无数的并且大部分未知的过程的统计平均值为基础的。例如，我们可以把合成代谢过程和分解代谢过程分别概括为"同化作用"和"异化作用"，同时，作为一级近似，把稳态看作同化和异化作用的平衡。这样一个代表一大批解不出来的过程的统计平均的量，可以按类似于物理化学中惯常地用于单个化合物和单个反应的那种方式用于计算。

系统在物质和能量的不断流动和交换中维持自己，细胞或有机体中为上述过程而进行的无数物理化学反应，组分在不同条件下、在扰动后、在不同的身体尺寸上维持恒定的比例，这些都是机体代谢的中心问题。生命系统的同化作用和异化作用这两个方面的交替变化——用冯·切尔马克斯(von Tschermaks'1916 年)的话来说——显示出保持某种状态的趋向，再生作用补偿由退化作用所引起的失调。代谢过程中所失掉的东西是怎样用食物所提供的物质来重建的？由酶激活的修建材料又是怎样在机体系统中找到自己正确的位置从而使系统在代谢过程中保持不变？什么是新陈代谢的"不随意自调节"原理？我们拥有关于细胞和有机体中物理化学过程的大量知识，但是我们切莫忽视这样一个事实："即使

我们完全能够解释个别过程，我们距充分懂得一个细胞中新陈代谢的全部过程还远得很”(哈特曼 M. Hartmann 1927 年)。况且按上面指出的方式控制单个过程的原理我们还知道得极少。问题的结论一次又一次地被引向活力论，这是不足为怪的(例如科特耶 Kottje，1927 年)。

显然，像我们将要逐步展开的一般原理是不能提供关于那些问题的详细说明的，但它们能够指出生命的本质特征、新陈代谢的自调节和在组分变化中维持自身的一般物理基础。至于这些本质特征在各个代谢过程中实现的具体方式，则只能通过实验研究来确定。不过可以期望，这种一般见解会使人留心迄今为止很难设想的那些可能性，而提出的表达式或类似的方程式适合于描述具体的单个的现象。

开放化学系统的一般特征

封闭系统中的真平衡和开放系统中的恒定“平衡”有某种相似性，因为把系统看作整体并从它的组分来看，两种系统都是保持不变的。但是两种系统的物理状况是根本不同的。封闭系统中的化学平衡是以可逆反应为基础的；它是热力学第二定律的结果并且可以用最小自由能来解释。开放系统则正好相反，稳态在整体上或者在许多个别反应中都是不可逆的。此外，按照定义，第二定律只适用于封闭系统而不能解释稳态。

根据第二定律，封闭系统最终必定达到一个不依赖于时间的平衡态，这可以用最大熵和最小自由能来定义(热平衡，范特霍夫 vant Hoff 等人关于质量作用定律的热力学推论)，其中各相之间的比率保持不变。化学开放系统(假定某些条件)可能达到一个不依赖于时间的稳态，在稳态中尽管它的组分物质在不断流动，然而系统整体及它的宏观各相保持不变。

一个平衡的封闭系统不需要吸收能量来维持，也不能从它得到能量。例如，一个封闭的水库含有大量的(位)能；但它不能驱动一台发动机。对于一个平衡态的化学系统来说也是如此。它不是化学上的静止状态，相反，反应在不断地进行，质量作用定律在调节着，使得生成的各种分子或离子和消失的同样多。然而，这种化学平衡态没有作功的本领。为维持过程继续进行，既不需要对它作功也不可能从它得到功，从基本反应得到的功和它所消耗的功的代数和等于零。要想作功，必须使系统不处于平衡态，但有走向平衡态的趋势；只有这样才能从它那里获得能量。为了连续地实现这一点，水力系统以及化学系统必须安排成稳定的——也就是说，必须维持一个稳定的水流或化学物质流，它们所含的能量转变为功。因此连续作功的本领不可能存在于一个有尽快达到平衡的趋势的封闭系统中存在，而只可能存在于一个开放系统中。有机体表面上的“平衡”不是那种不能作功的真平衡；相反，它是动态的假平衡，它同真平衡态保持一个恒定的距离，这样它就有能力作功，但另一方面，它要求不断输入能量以维持它同真平衡态的距离。

要维持“动态平衡”，过程的比例关系必须非常协调。只有在这种情况下才有这样的可能：即某些组分能够分解以释放出可用的能量，而另一方面，输入则阻止系统达到平衡态。在有机体中，快速反应同样会导致化学平衡态(例如血红素和氧的反应)；缓慢反应则不达到平衡态而保持稳态。因此，一个稳态化学系统存在的条件是反应相当的慢。瞬时反应，例如离子间的反应，在“无限短”的时间内导致平衡态。有机体中稳态得以维持是因为它是由复杂的碳化合物组成的：这些化合物，一方面含有丰富的能量但化学性质不活泼，使它有可能维持可观的化学势；另一方面，通过酶的反应来实现迅速而有节制地释放这些能量，使稳态得以保持。

我们可以用一个一般的传输方程来推导稳态的条件和特性。令 Q_i 是系统的第 i 个元素的一个量，例如处于联立方程组中的浓

度或能量。它的变化可表示为：

$$\frac{\partial Q_i}{\partial t} - T_i + P_i \tag{5.1}$$

T_i 代表在空间某点一个体积元内的元素 Q_i 的传输速度，而 P_i 是生产率。

物理学、生物学、甚至社会学中出现的许多方程式可以看作(5.1)的特殊情况。例如，在分子尺度上，P_i 就是表示物质 Q_i 形成和消亡的反应速率的函数；而 T_i 随不同的系统而取不同的形式。例如，如果没有外力影响质量，T_i 将用菲克(Fick)扩散方程表示。若 T_i 不出现，则得到通常用于封闭系统的一组反应方程；若 P_i 不出现，则得简单的扩散方程，其中 T_i 的形式为：$T_i = D_i V^2 Q_i$，拉普拉斯算子 V^2 代表对 x、y、z 的偏导数求和，D_i 是扩散系数。在生物学中也有这类方程，例如生长方程；它们也出现在社会学和人口动态学中。一般说来，人口的变化率等于人口运动(迁入减去迁出)加上繁殖率(出生率减去死亡率)。

通常我们得到一组联立偏微分方程，P_i 和 T_i 一般都是 Q_i 和其他系统变量 Q_j 的非线性函数，此外还是空间坐标 x、y、z 和时间 t 的函数。为解此方程，必须知道方程的特殊形式及其初始条件和边界条件。

对于我们的目的来说，有两点考虑很重要，我们可以称之为时间上的横断面和纵断面。第一个问题是稳态的维持，这在生物学上是新陈代谢的基本问题。第二个问题涉及到系统随时间的变化，生物学上表现为(比如说)生长。我们还将简短地提到第三个问题，也就是周期性变化，在有机界这是自律过程诸如不随意有节奏运动的特征。这三个方面对应于生理学的三个主要领域的一般问题。

“时间上的纵断面”的问题，也就是系统随时间变化的问题，可以通过解(5.1)类型的微分方程求得解答。

作为一个简单的例子，考虑一个仅由一个组分 Q 组成的化学

开放系统，反应原料连续输入，得到的反应产物不断取出。设 E 为每单位时间内输入的反应原料的量；k 是根据质量作用定律得到的反应常数；因此 kQ 就是每单位时间内的变化量；而且，先假定输入量在开始时大于转换的量，按照方程

$$\frac{dQ}{dt} = E - kQ \tag{5.2}$$

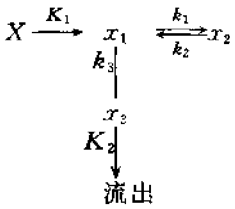
系统的浓度将增大。

不难看出，这是一般方程(5.1)的一个特殊情况。因为流入量假定为常量，而流出量等于化学反应产物，因而扩散和浓度梯度被略去了(或者，也可以说，假设系统完全“摇匀”)，(5.1)中的空间坐标消去了，我们得到一个常微分方程而不是偏微分方程。于是在 t 时间的浓度为

$$Q = \frac{E}{k} - \left(\frac{E}{k} - Q_0\right)e^{-kt} \tag{5.3}$$

Q_0 为 $t=0$ 时的初始浓度。因此浓度的增大逼近一个确定的极限，在那里转换额等于流入量(设为常量)。这个最大浓度就是 $Q_\infty = \frac{E}{k}$。

下面是一个更接近生物学条件的系统。设有原料 a_1 向系统内传输，这种传输正比于系统内外的浓度差 $(X - x_1)$。生物学上，我们可以考虑单糖或氨基酸。输入的原料 a_1 可以在单分子可逆反应中生成一种浓度为 x_2 的化合物 a_2(如例，单糖变为多糖，氨基酸变为蛋白质)，另一方面，物质 a_1 可以在一种不可逆反应中(例如氧化作用、脱氨基作用)分解成 a_3，而且 a_3 可从系统中除去，正比于它的浓度。于是我们得到下列反应系统：



和方程组：

$$\frac{dx_1}{dt}=K_1(X-x_1)-k_1x_1+k_2x_2-k_3x_1$$

$$=x_1(-K_1-k_1-k_3)+k_2x_2+K_1X$$

$$\frac{dx_2}{dt}=k_1x_1-k_2k_2 \qquad (5.1)$$

$$\frac{dx_3}{dt}=k_3x_1-K_2x_3$$

为消去第一个方程中的常数，令方程等于零；x_1^*，x_2^*… 是这些方程的根。我们引入新的变量

$$x_1'=x_1^*-x_1\cdots \qquad (5.5)$$

并据以重写(5.4)。

这种方程的一般形式为

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\,x_1'}{dt}&=a_{11}\,x_1'+a_{12}\,x_2'+\cdots+a_{1n}\,x_n'\\ \frac{d\,x_2'}{dt}&=a_{21}\,x_1'+a_{22}\,x_2'+\cdots+a_{2n}\,x_n'\\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \frac{d\,x_n'}{dt}&=a_{n_1}\,x_1'+a_{n_2}\,x_2'+\cdots+a_{nn}x_n^1\end{aligned}\right\} \qquad (5.6)$$

具有一般解(参看 p.54)：

$$\left.\begin{array}{l} x_1' = C_{11}e^{\lambda_1 t} + C_{12}e^{\lambda_2 t} + \cdots + C_{1n}e^{\lambda_n t} \\ x_2' = C_{21}e^{\lambda_1 t} + C_{22}e^{\lambda_2 t} + \cdots + C_{2n}e^{\lambda_n t} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ x_n' = C_{n1}e^{\lambda_1 t} + C_{n2}e^{\lambda_2 t} + \cdots + C_{nn}e^{\lambda_n t} \end{array}\right\} \tag{5.7}$$

各个 λ 由特征方程

$$\begin{vmatrix} a_{11}-\lambda & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}-\lambda & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn}-\lambda \end{vmatrix} = 0 \tag{5.8}$$

给出。

现在我们来考虑时间上的横断面，也就是在不依赖于时间的稳态中组分的分布。

通常，用方程(5.1)定义的一个系统可有三组不同的解。第一，可以有 Q 无限增长的解；第二，可以达到一个不随时间变化的稳态解；第三，可有周期性解。

要证明一般系统(5.1)存在稳态是困难的，迄今还只能在某些情况下证明它。假设两项都是 Q_i 的线性函数并且不依赖于时间 t 。则可用积分的标准方法求出具有下面形式的解

$$Q_i = Q_{i1}(x,y,z) + Q_{i2}(x,y,z,t) \tag{5.9}$$

其中 Q_{i2} 是 t 的函数，在常数和边界条件的某种关系下随着时间的增长它减小到零。

另一方面，如果存在一个用(5.9)中的 Q_{i1} 表示的不依赖于时间的稳态，则 Q_{i1} 必须满足不依赖于时间的方程

$$T_i + P_i = 0 \tag{5.10}$$

由此可见：

(1) 如果存在一个恒定解，尽管反在连续进行，并且没有像在封闭系统中那样达到平衡态，而且尽管有物质流进和流出，处于稳态的系统的构成相对于组分 Q_i 保持不变；这种情况就非常好地表

示了有机体系统的特征。

（2）在稳态中每单位时间内依靠传输和化学反应加入状态 $Q_i(x,y,z,t)$ 的元素的数目等于离开它的数目。

关于周期性解也可以作类似的考虑。不错，上面的推导的确对方程的性质预先作了些相当特殊的假定。不过，虽然不知道系统(5.1)存在恒定解或周期性解的一般判据，但对于某些线性的甚至非线性的类型可以指出这些条件。对我们来说重要的是这一事实，即在开放系统中存在恒定的动态"平衡态"，或者换个说法，存在着由动力学原理而不是由结构力学原理所保证的某种过程秩序，这可由一般的原理推导出来。

解方程组(5.4)对于稳态得到

$$x_1 : x_2 : x_3 = 1 : \frac{k_1}{k_2} : \frac{k_3}{K_2}$$

所以我们看到在稳态中各组分之间形成一个固定的比例，尽管它不是像在封闭系统中那样基于可逆反应的平衡态，这些反应部分地是不可逆的。此外，稳态中的组分比只依赖于反应常数，而与流入量无关；于是系统表现出与有机体系统类似的"自调节"功能，其中当流入量、绝对尺度等改变时其组分比都保持不变。

进一步我们求出

$$x_1^* = \frac{K_1 X}{K_1 + k_3}$$

在外界干扰("刺激")导致分解代谢增强——例如，增大反应常数 k_3 而其他常数保持不变——的情况下，x_1 减小。不过，因为流入量是正比于浓度差 $X - x_1$ 的，随着浓度差的增大输入量也增大。如果"刺激"停止后分解代谢常数恢复其正常值，系统就回到它原来的状态。但是，如果干扰持续从而分解速率的改变也持续下去，就会形成一个新的稳态。系统发挥一种抗干扰的力量，力图用增强输入来补偿增强了的分解。所以，它表现出对新情况的"适

应”。这些也是系统的“自调节”特性。

因此，可以看出，被当作有机体系统特征指出的那些性质，不过是开放系统如下一些性质的结果；维持“动态平衡”，构成不依赖于组分的绝对数量，在条件和营养改变时其构成保持不变，在正常的分解代谢后或受刺激而增强了的分解代谢后重建动态平衡，过程的动态秩序，等等。在物理学原理的基础上可以使“新陈代谢的自调节”成为可理解的。

异因同果性

生物系统的一个重要特征是用下列术语来定义的，如“目的性”、“果决性”、“自动寻的”等等。让我们看看物理学的考虑是否能有助于说清楚这些术语。

人们常常强调每个趋向平衡态的系统以一种确定的方式显示出如前面所讨论的那种“果决性的”行为。

更重要的是以下的见解。人们常常试图把有机体的调节理解为“平衡态”的建立（当然，具有非常复杂的性质。例如克勒，1972年），试图应用勒夏特利埃的理论和类似的原理。我们不能给复杂的有机过程下“平衡态”这样的定义，而且不难看出，这样一种概念原则上是不适宜的。因为，除了某些单个的过程以外，有生命的系统不是处于真平衡态的封闭系统，而是处于稳态的开放系统。

不过，开放系统的稳态有着值得注意的特征。

有机体过程的动力学秩序的一个很有特色的方面可以称之为异因同果性。出现在类机器结构中的过程都沿着一条固定的路径进行。因此，如果初始条件或过程的路线变换了，过程的终态将会改变。与此相反，在有机体过程中从不同的初始条件出发和沿着不同的路线进行却可以到达同一个终态、同一个“目标”。例如一个完整的卵细胞、或一个卵细胞被分割为几部分、或两个卵细胞融合在

一起、或如水螅体或涡虫身上的任一小片都能发育成正常的机体，或者说，从不同的初始尺寸出发经过不同的生长路线达到确定的最终尺寸。

我们可以定义：

如改变系统的初始条件 $Q_{io}(x,y,z)$ 而不致改变支系统 $Q_j(x,y,z,\infty)$ 的值，那么一个有要素 $Q_i(x,y,z,t)$ 的系统与有要素 Q_j 的支系统是同果的。

我们可以规定两条有趣的定理：

1. 如果存在(5.9)形式的解，初始条件就不进入稳态解。这就是说：如果开放系统（属于所讨论的类型的）达到一个稳态，它就有一个同果的值或不依赖于初始条件的值。一般的证明是困难的，因为缺少稳态存在的一般判据；但是对于有些特殊情况可以加以证明。

2. 在一个封闭系统中，要素的某些函数——例如总质量或总能量——根据定义是常数。考虑系统的这样一个积分 $M(Q_i)$ 。如果 Q_i 的初始条件给定为 Q_{io}，必有

$$M(Q_i) = M(Q_{io}) = M \tag{5.11}$$

不依赖于 t 。如果 Q_i 趋近于一个渐近值 Q_{i1}，

$$M(Q_{i1}) = M \tag{5.12}$$

但是 M 不能完全不依赖于 Q_{io}；随着 Q_{io} 的改变，M，从而 $M(Q_{i1})$ 也会变化。如果这个积分的值改变，至少 Q_{i1} 也必定会有某些变化。然而，这是与异因同果性的定义相矛盾的。因此我们可以规定这个定理：一个封闭系统不能对于所有的 Q_i 都同果。

例如，在与方程(5.2)相应的一个最简单的化学开放系统中，t 时间的浓度由(5.3)给出，对 $t=\infty$，$Q=E/k$，也就是说，它不依赖于初始浓度 Q_0，而只与系统常数 E 和 k 有关。在拉舍夫斯基的书中（1938 年）可以找到在扩散系统中的异因同果性——即达到一个不依赖于时间和初始条件的稳态——的一个推导。

当然，如果我们不知道特殊的条件，一般的见解是无法对特殊现象提供说明的。尽管如此，一般的表述也不无裨益。我们看到，首先，有可能给表面上看是形而上学或活力论概念的果决性以一个物理公式，众所周知，异因同果现象是杜里舒的活力论的所谓"证据"的基石。其次，我们看到有机体的一个基本特征，即它事实上不是一个热力学平衡态下的封闭系统，而是一个（准）恒定状态下的开放系统，和它的另一个基本特征异因同果性之间有紧密联系*。

一个在这里未加考虑的问题是，系统不仅依赖于现在的条件，而且也依赖于过去的条件和过去所取的路线。这些就是通常所说的"滞后作用"，"遗传的"（在数学意义上：皮卡德 E. Picard）或"历史性的"现象（沃尔特拉）（参看德安科纳，1939 年）。弹性力学、电学和磁学等学科中的滞后效应都属于这个类型。把对过去的依赖性考虑进来，我们的方程将变成沃尔特拉（参看德安科纳）和唐南（1937 年）讨论过的那种积分微分方程。

生物学上的应用

有机体系统许多常常被看作活力论的或神秘的特征，能够由系统概念和某些相当一般的与热力学和统计力学有联系的系统方程的特性导出，这一点现在应该说已经很明显了。

---

* 有机体调节的局限性是基于这一事实，即有机体（不仅个体发育上而且系统发育上）由一个动力为上相互作用着的元素的系统转到结构上的"机械装置"和各个因果链条的系统（参看 63 页以下）。如果组分变成彼此独立的，那么在每个组分中的变化仅仅依赖于这一组分内部的条件。一个组分的改变或迁移必定会产生一个不同于正常状态的终态；在一个分解成互相独立的因果链条的完全"机构化"的系统中调节是不可能的（除了用反馈机制来控制以外，参看 39 页以下和其它地方）。

如果有机体是个开放系统，那么普遍适用于这类系统的原理就必定适用于有机体（在变化中维持自己，过程的动态秩序，异因同果等等），而不管组分之间的显然极为复杂的关系和过程的性质如何。

自然，像这样的一般见解解释不了特殊的生命现象。不过我们所讨论的原理或许会提供一个一般的框架或图式，使特殊的生命现象的定量理论有可能在其中建立起来。换句话说，最后将会弄清楚，个别的生物学现象的理论原来不过是我们的一般方程的特殊情况。用不着追求完备性，只需几个例子就可以表明，有机体作为化学开放系统和稳态的概念已经被证明是在各个不同领域内都有效的工作假说。

拉舍夫斯基（1938 年）试验了一个有新陈代谢行为的液滴，作为细胞的一个高度简化的理论上的模型，物质从外界扩散进去，它们在液滴中发生化学反应，而反应产物则从液滴中流出。作为开放系统的一个简单实例来考虑这一模型［它的方程是我们的方程（5.1）的特殊情况］能够从数学上推导出一些经常被看作基本生命现象的特性。从这种系统得出的结果在数量级上同实际的细胞，生长和周期性分裂、自发产生的不可能性（omnis cellula e cellula*）、细胞分裂的一般特性等等相符。

奥斯特霍特（Osterhout，1932—1933 年）把开放系统原理应用于渗透现象，并作了定量的详细说明。他研究了细胞模型的渗透作用，模型由一个外侧和内侧被含水的流体（内侧的流体相当于细胞浆）包围的不含水的薄层组成。在这个细胞内发生了渗入物质的积聚，这可由渗入物质形成的盐来说明。结果不是平衡态而是稳态，在这个状态下细胞浆的构成当体积增大时保持不变。这个模型与 117 页提到的相类似。已推导出数学表达式，这个模型的动力学

---

* 细胞都来自细胞。——译注

与活细胞中的相似。

开放系统和稳态在新陈代谢中一般起着带有根本性的作用，虽然只有在简单情况或模型中才可能写出数学公式。例如，只有在肠连续地吸回酶作用的产物时才可能有连续的消化作用，因此，它决不会达到平衡态。在其他的情况下，反应产物的积聚可以导致反应停止，这种反应说明了某些调节过程。这对储存物质的使用来说是正确的：储存在许多植物种子的胚乳中的淀粉分解为可溶物是由植物生长对炭水化合物的需求来调节的；如果用实验的方法阻止其发育，胚乳中淀粉的消耗就会停止。普弗菲(Pfeffy)和汉斯廷(Hansteen)的工作很可能已证明，由于消化淀粉而产生的糖的积累和由于抑制籽苗发育而没有把积累耗光是胚乳中淀粉停止分解的原因。如果把胚乳析出并与一熟石膏小桩相连，如果糖通过熟石膏桩扩散到大量的水中去，胚乳中的淀粉将继续分解；但是如果把柱放在少量的水中使得糖的浓度抑制水解作用，则胚乳中淀粉的分解将被阻上。

生长理论就是一个已能用方程的形式表达其过程的领域。可以假定(贝塔朗菲，1934 年)生长是以合成过程和分解过程的对抗作用为基础的：当积累超过分解时，有机体便生长，而当两者平衡时，有机体便稳定不变。可以进一步假定，在许多有机体中，分解代谢正比于体积(重量)，而合成代谢正比于再吸收作用，也就是正比于表面积。这个假说可以得到一些形态学和生理学论据的支持，而且在简单情况下，诸如真涡虫(planarians)的情况，还能够通过测量肠的表面积来验证它(贝塔朗菲，1940 年 b)。如果 k 是每单位质量的分解代数常数，总分解代谢就是 $k\omega$(ω = 重量)；同样，用 η 表示每单位表面积的合成代谢常数，则合成代谢将是 ηs，而重量的增加将由这些量的差来确定：

$$\frac{d\omega}{dt} = \eta s - k\omega \tag{5.13}$$

由这个基本方程可推出能定量表示生长的经验曲线并能说明相当多的生长现象的表达式。在较简单的情况下，可以用物理实验的精确度得到这些生长定律。而且，这一分解代谢率可由生长曲线算出并把这样算得的值与直接用生理学实验确定的值作比较，符合得极好。这就能表明，第一，这个方程的特性不是数学上构造出来的东西，而是生理学上的事实；第二，生长的基本过程已经用理论反映出来(参看第七章)。

这个例子很好地说明了前面讨论过的异因同果原理。由(5.13)求得重量的增加：

$$\omega = \left[\frac{E}{k} - \left(\frac{E}{k} - \sqrt[3]{\omega_0}\right)e^{-kt}\right]^3 \qquad (5.14)$$

其中 E 和 k 是与 η 和 k 有关的常数，而 ω_0 是初重。恒定的终态重量由 $\omega^* = (E/k)^3$ 给出，它因而是与初重无关的。这一点也可用实验来证明，因为由物种特性常数决定的同一个终态重量，可以循着与正常生长曲线完全不同的生长曲线来达到(参看贝塔朗菲，1934年)。

显然，这个生长理论是开放系统动力学概念的必然结果；方程(5.13)是一般方程(5.1)的一个特例。有机体相当于一个开放系统，它的这一基本特征被称为有机体生长原理。

证明这一概念富有成效的另一个领域是兴奋现象。赫林(Hering)第一个把兴奋现象看作对有机体恒定的过程流的可逆干扰。在静止状态，同化作用和异化作用是平衡的；一个刺激引起异化作用增强，但是随之而来的是可分解的物质减少，于是与它相对抗的同化过程加速，直至同化作用和异化作用之间达到一个新的稳态为止。这一理论已证明是极有成效的。黑却特(Hecht，1931 年)进一步发展了皮特尔(Putter，1918—1920 年)的理论，认为兴奋的基础是感受物质(例如：脊椎动物眼睛视网膜杆中的视紫)形成兴奋物质和这种物质的消失。从兴奋物质的产生和消除，从这些过程的

对抗作用，可在化学动力学和质量作用定律的基础上推导出感觉兴奋的数量关系：阈现象、对明亮或黑暗的适应，亮度分辨、韦伯(Weber)定律及其范围等等。关于兴奋物质和抑制物质以及在刺激影响下异化作用机制的一个类似的假说，形成了拉舍夫斯基(1938年)的神经电刺激兴奋理论的基础，形式上与希尔(Hill，1936年)的兴奋理论一样。这个兴奋物质理限于的论不感觉器官和末梢神经系统，而且也可用于神经突触上兴奋从一个神经原到另 ·个神经原的传递。不用深入到迄今尚未解决的关于中枢神经传异的化学理论和电学理论的问题中去，就可以直接解释中枢神经系统同周围神经系统相类似的许多基本性质，诸如传导的不可逆性、中枢神经系统中传导的延迟，累积和抑制；这里也同样有形成定量公式的可能性。例如，拉皮克(Lapicque)研究出一种关于中枢神经系统中的累积的数学理论；根据乌姆拉思(Umrath)的看法，这可以用兴奋物质的产生和消失来解释。

因此我们可以说，首先，在开放系统概念的引导下，包括新陈代谢、生长、兴奋等等广大领域开始融合到一个综合的理论领域中来了；其次，由这个概念引出大量的问题和可能有的定量公式。

与兴奋现象有关，还应提到这个概念在药理学问题中也是有效的。洛伊(Loewe，1928年)把有机体作为开放系统的概念用于分析药物效应并导出关于某些药物的作用机制(“输入”、“下降”和“停止”系统)的定量关系。

最后，和我们讨论过的单个有机体问题相类似，还有超个体的问题，生物群体处在个体不断死亡和生殖、迁入和迁出之中，体现了一种更高类型的开放系统。实际上，沃尔特拉研究的人口动态学、生物群落等方程(参看德安科纳，1939年)属于上面讨论过的一般类型。总而言之，可以说上面讨论的概念的几条一般原理已经产生，已经证明用这个概念考虑有机体的现象，对解释生命的特殊现象是很重要的。

第六章　开放系统的模型

生命机器论及其局限性

我们的讨论可以从那些平凡的问题开始。要科学地回答这些问题常常是很困难的。正常的、有病的和死去的有机体之间的区别是什么？从物理的、化学的观点看，答案只能是，在所谓机械论的基础上无法确定它们的区别。用物理学和化学的术语说，生命有机体是许多过程的聚集体，如果有充分的研究和知识，这些过程是能够用化学结构式、数学方程式和自然定律来定义的。事实上，这些过程在活狗、病狗或死狗身上是不同的；但物理定律却不能讲出一点区别来，它们对狗是活的还是死的并不感兴趣。即使把分子生物学的最新成果考虑进去，情况仍然一样，一个 DNA 分子、蛋白质、酶或激素过程，同另一个并无二致，每一个都是被物理学和化学定律所决定的，一点也不比另一个更好些、更健康些或更正常些。

然而，活的有机体和死的有机体之间有着根本的区别。通常我们区分活的有机体和死的物体是没有任何困难的。在生命有机体中，无数的物理和化学过程是“有序的”，因而使生命系统能够存留、生长、发育、繁殖等等。但是，“有序”概念是什么意思呢？在物理教科书里找不到答案。为了定义它和解释它，我们需要一个模型，一个概念上的构思物。这样的一种模型，从现代科学开始之时就被采用，这就是生命机器的模型。随着技艺状况的发展，对模型有着不同的解释。在 17 世纪，笛卡儿提出动物是机器的概念，当时只存在力学上的机器。所以，动物被看成复杂的钟表机构。博雷利（Borelli）、海瑞（Harvey）和其他被称为物理医疗学派的学者，用杠

杆、泵以及其他诸如此类的力学原理解释肌肉、心脏等等的功能。在现在的歌剧中仍能找到这种观点，例如在歌剧“霍夫曼的故事”里，美丽的奥林匹亚原来是一个结构精巧的洋娃娃，当时被称为自动装置，后来，蒸汽机和热力学的采用，有机体就被设想为一部热机。从这个概念出发，对有机体进行卡路里的计算和诸如此类的事情。但是，有机体并不是一部将燃料能转化为热能，然而再转化为机械能的热机。更确切地说，它是一架化学动力机，直接将燃料能转变为有效功。例如，肌肉动作的理论就是以这个事实为根据的。近来，自调节机涌现出来，如恒温器、自动瞄准目标的导弹和现代技术的伺服机构。因此，有机体又变成一部控制论机，以此来说明自动动态平衡和有关的许多现象。最新的发展是采用分子机器的概念。人们谈论氧化作用的三羧循环“工厂”，或谈论线粒体是细胞的“发电厂”，这就是说，在分子水平上的类机器结构，决定酶反应的秩序。同样地，它是一部微型机器，把染色体DNA遗传密码译为特定的蛋白质，最后变成复杂的有机体。

有机体的机器模型尽管有其成功之处，却有它的困难和局限性。首先，有一个机器的起源问题。老笛卡儿没有这个问题，因为动物机器是神圣钟表匠的创造物。但是，在一个无指导的物理——化学事件的世界中，机器是怎样来的？钟表、蒸汽机和半导体收音机是不能在自然界里自己生长出来的。复杂无比的生命机器又是从什么地方来的？我们当然知道达尔文主义的解释，但仍旧有疑问，特别是从物理学上考虑有疑问。这里遗留的问题，在进化论的教科书中通常没有提到或者不予回答。

其次是调节问题。的确，根据现代自动机理论，自我修复机是可以想像的。这个问题是随着在任意干扰之后的调节和修复而出现的。像胚胎和脑这样的机器，它所编制的程序，不是调节一个确定的或数目有限的扰动，而是调节数目不确定的扰动，这是可能的吗？所谓图灵机，原则上能够把最复杂的过程分解为若干步骤，而

且只要它们的数目是有限的，就能用一部自动机再现出来。但是，步骤的数目可能既不是有限的，也不是无限的，而是“庞大的”，也就是超过了宇宙间的粒子数或可能发生的事件的数目。有机体作为这样的机器或自动机放置在什么地方呢？众所周知，这类有机体调节被活力论者用来证明有机体机器是由超自然的力量即所谓隐德来希*控制和修复的。

然而更重要的是第三个问题。生命有机体在其组分连续不断的更替中维持自己；新陈代谢是生命系统的一个基本特征。按照它本来面目说来，我们有一部由燃料组成的机器，不断消耗它自身，然而又维持它自身。这样的机器，在今天的技术上是不存在的。换句话说，一个有机体的类机器结构，对于生命的有序过程来讲不能说是终极原因，因为机器本身要在有序的过程流中才能维持。因此，本初秩序一定存在于过程自身之中。

开放系统的一些特征

我们已说明了这点：生命系统本质上是开放系统（伯顿，Burton，1939 年；贝塔朗菲，1940 年）。开放系统被定义为与环境交换物质的系统，表现为输入和输出，物质组分的组建与破坏。直到最近，物理化学在动力学和热力学上还限于封闭系统；开放系统的理论相对地说是新的，还有许多未解决的问题。开放系统动力学理论的发展有两个来源：一是生命有机体的生物物理学；二是工业化学方面的发展，工业化学除了在封闭容器或断续过程中的反应外，为了更高的效率和其他优点，日益采用连续反应系统。开放系统的热力学理论被称为不可逆热力学（梅克斯纳，Mcixner；赖克，Reik，

---

* 隐德来希（entelechy），新活力论者杜里舒所用的术语，指支配有生命的物体的一种非物质的、神秘的、超自然的“整体原则”。——译注

1959 年)；经过梅克斯纳、翁萨格(Onsager)、普里高津和其他人的工作，它已成为物理学理论的一个重要的推广。

即使简单的开放系统也表现出值得注意的特征(见第五章)。在一定的条件下，开放系统趋近于一个与时间无关的所谓稳态(据贝塔朗菲，Fliessgleichgewicht*，1942 年)。这种稳态与真正平衡态保持一定距离，所以能够做功；生命系统就是这样的系统，而平衡系统则与之相反。这个系统尽管持续不断地进行着不可逆的过程，有输入和输出，有组建和破坏发生着，但其构成仍保持不变。稳态显示出值得注意的调节特性，这在异因同果性上变得特别明显。一个开放系统到达稳态，不取决于初始条件，而只取决于系统参数，即反应和传递的速率。这称为“异因同果性”，在许多有机体过程中都可以找到(如生长方面，图 6.1)。与封闭的物理——化学系统相反，开放系统可以从不同的初始条件以及过程受到扰动之后，殊途同归地到达同样的终态。此外，化学平衡态与加速过程进行的催化剂无关。相反，稳态则取决于催化剂的参与和它们的反应常数。在开放系统里，可能发生过调节现象和起动不及现象(图 6.2)，此时系统先沿着与稳态相反的方向进行，最后趋向稳态。反过来说，生理学中经常看到的过调现象和起动不及现象，可以指明我们在处理开放系统的过程。

从热力学的观点看，开放系统能把自己维持在非常不可几的统计状态上，维持在有序的和有组织的状态上。

* 德语。直译为“流动中平衡”。——译注

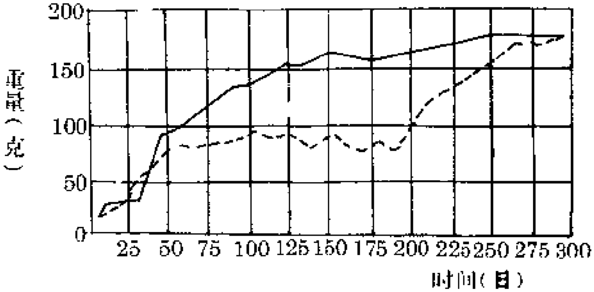


图 6.1 生长的异因同果性

实曲线:正常生长速率。虚曲线:在50天后用减少维生素方法使生长停止。在恢复正常状态后,动物达到正常的最终重量。

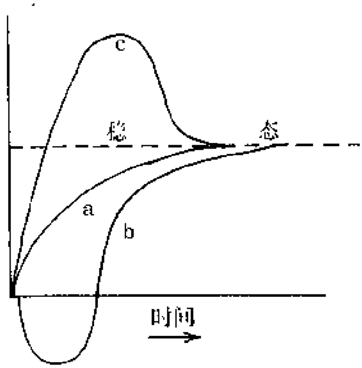


图 6.2 的开放系统里,(*a*) 渐近线逼近稳定状态;(*b*) 起动不及;(*c*) 过调。简图。

根据热力学第二定律,物理过程一般趋势是增大熵,即增大可几性,减小有序的状态。生命系统把自身维持在高度有序和不可几的状态,甚至可能朝着增强分化和组织性的方向演化,有机体的发育和演化就是这样的。道理已经由普里高津的扩展了的熵函数给出了。根据克劳修斯(Clausius)方程式,在封闭系统中熵总是增大的:

$$dS \geqslant 0 \qquad (6.1)$$

可是,根据普里高津理论,开放系统中熵的总变化量可写成:

$$dS = d_eS + d_iS \tag{6.2}$$

d_eS 代表由于输入而引起的熵的变化，d_iS 代表由于系统内不可逆过程而产生的熵，例如化学反应、扩散、热的传递等等。d_iS 项根据热力学第二定律总是正的；d_eS 传递熵可以是正的，也可以是负的，后者是由于输入携带自由能或“负熵”的物质势能载体而引起的。这就是有机体系统里负熵趋势的根据，并且也是薛定锷的论点：“有机体以负熵为食”的根据。

伯顿、拉舍夫斯基、赫朗(Hearon)、赖纳(Reiner)、丹比夫(Denbigh)等人研究和分析了与生物学问题近似的更为复杂的开放系统模型。最近几年，已广泛地用计算机解多元联立方程组(往往是非线性的)(如弗蓝克斯 Franks，1967 年，黑斯和其他人)，并用计算机模拟生理学方面复杂的开放系统过程(例如，泽布斯特 Zerbst 及其同事们，1963 年)。区隔理论(莱西诺和西格雷，1967 年；洛克，1966 年 b)提供了一种先进的方法，用于非均质空间中发生的而且部分反应物可透过支系统的反应中，如工业系统尤其是细胞内的许多过程。

可见，与传统的封闭系统相比较，开放系统表现出似乎与通常的物理学定律相矛盾的特征；这在过去常常被看作生命的活力论特征，即违背了物理学定律，只有靠引入灵魂或隐德来希(entelechial)之类的因素来解释有机体这种偶然事件。有机体调节的“异因同果性”是确实存在的，例如，一个正常的卵、一个卵分成几块或两个卵融合在一起都可以发育成正常的有机体，达到同样的“目标”。事实上，杜里舒认为这是最重要的“活力论证据”。同样，物理世界中熵增大和无序性增大的趋向，与发育和演化方面负熵增大的趋向之间存在明显的矛盾，也被用来作为活力论的论据。随着物理学理论扩展和推广到开放系统，这个表面上的矛盾消失了。

生物学中的开放系统

生物学的许多问题和许多领域可以应用开放系统模型(比伊尔,1962年、1965年;洛克等人,1964年、1966年a)。若干年前,我曾对开放系统的生物物理学(包括基础理论及其应用)作过概述(贝塔朗菲,1953年a);目前正在准备修订版(与比伊尔、劳埃R. Lave、洛克合作)。这里的概述只限于几个典型例子。

首先就是歌德的"死与生"(stirb und werde)这个广大的领域,即不断的衰亡和再生,在不同组织水平上的生命系统的动态结构(表6.1~6.3)。

表6.1 细胞组织新陈代谢的中间产物的更新率(据赫斯,1963年)

结 构	物种	器官	更新时间(秒)
线粒体	小鼠	肝	1.3×10^6
血红蛋白	人	红血球	1.5×10^7
醛缩酶	兔	肌肉	1.7×10^6
拟胆碱脂酶	人	血清	1.2×10^6
胆固醇	人	血清	9.5×10^5
血纤维蛋白原	人	血清	4.8×10^4
葡萄糖	大鼠	全组织	4.4×10^3
蛋氨酸	人	全组织	2.2×10^3
ATP糖酵解	人	红血球	1.6×10^3
ATP糖酵解+呼吸作用	人	血小板	4.8×10^2
ATP糖酵解+呼吸作用	小鼠	腹水肿瘤	4.0×10^1

结　构	物种	器官	更新时间(秒)
柠檬酸盐循环中间产物	大鼠	肾	1—10
糖酵解中间产物	小鼠	腹水肿瘤	0.1—8.5
黄素蛋白还原型/黄素蛋白氧化型	小鼠	腹水肿瘤	4.6×10^{-2}
Fe^{2+}/Fe^{3+}——细胞色素	蚱蜢	翅肌肉	10^{-3}
Fe^{2+}/Fe^{3+}——细胞色素	小鼠	腹水肿瘤	1.9×10^{-2}

表 6.2　用 15N 标志甘氨酸确定蛋白质更新率(据斯普林森 Sprison,和里坦博格 Rittenberg,1949 年 b)

	更新率(比率)
大鼠	
总蛋白	0.04
肝、血浆和内脏蛋白质	0.12
身体其余部分	0.033
人	
总蛋白	0.0087
肝蛋白、血清蛋白	0.0693
肝肉组织和其他器官蛋白	0.0044

表 6.3　大鼠组织内的有丝分裂速率。(据贝塔朗菲 1960 年)

	有丝分裂每天的速率(%)	更新时间(天)
没有有丝分裂的组织		
神经细胞、神经上皮、神经梢、视网膜、肾上腺髓质……	0	—

	有丝分裂每天的速率(%)	更新时间(天)
诱发有丝分裂但无细胞更新的组织		
肝实质、肾皮质和髓质、大部分腺组织、尿道、附睾、输精管肌肉、脉管内皮、软骨、骨……	小于1	—
细胞更新的组织		
上消化道	7 24	4.3－14.7
大肠和肛门	10 23	4.3 10
胃和幽门	11 54	1.9 9.1
小肠	64－79	1.3 1.6
气管和支气管	2－4	26.7 47.6
输尿管和膀胱	1.6—3	33 —62.5
表皮	3—5	19.1—34.5
皮脂腺	13	8
角膜	14	6.9
淋巴节	14	6.9
肺泡细胞	15	6.4
输精管上皮	—	16

通常可以说，再生以远比预想的高得多的速率发生着。例如，在开放系统的基础上的计算，出乎意料地表明人体的蛋白质更新时间不超过一百天。对细胞和细胞组织来说，情况基本上也是一样的。成熟的有机体的许多组织维持在一个稳态状态，细胞不断地由于脱屑而损失，又由于有丝分裂而补充(贝塔朗菲和劳埃，1962 年)。例如利用秋水仙碱技术抑制有丝分裂，并且由此可以对某些特定

周期的分裂的细胞进行计算，如用氚标志胸腺嘧啶脱氧核苷技术计算一样，这些技术揭示出有时有意外地高的更新率。在做上述试验研究以前，很难预料细胞在消化道和呼吸系统里只有几天的寿命。

在生物化学方面，探究了许多个别的新陈代谢反应的途径之后，进一步弄清作为功能单位的综合代谢系统，就成为一项重要的任务（钱斯 Chance 等人，1965 年）。方法是通过酶反应的物理化学过程来寻找，正像它曾用于开放系统内一样。复杂网络系统和许多反应的相互作用在功能上已被搞清楚，例如光合作用（布雷德利和卡尔文，1956 年），呼吸作用（黑斯和钱斯，1959 年；黑斯，1963 年）和糖酵解，后者是用数百个非线性微分方程的计算机模型来研究的（黑斯，1969 年）。从更一般的观点看，我们开始懂得，除了像用电子显微镜、光学显微镜及普通显微镜观察到可见的形态学组织以外，还有不可见的其他组织。这些不可见组织来自由反应和传输速率决定的过程的相互作用，并保护自己免受环境的干扰。

流体动力学类比（伯顿，1939 年；卡拉瓦希亚 Caravaghia 等人，1958 年；莱西诺，1960 年）尤其是电子类比提供了生物物理试验以外的另一种研究途径，特别使解决多变量的问题成为可能。若用其他方法解决问题则超出时间限度和可用的数学技巧。泽布斯特以及其他人（1963 年）用这种方法研究心率适应温度的变化和感觉细胞的动作电位（修改霍奇金—赫胥黎的反馈理论）等等方面都取得了重要成果。

此外，还必须考虑能量情况。比方说，在有机体内蛋白质的浓度与化学平衡是不相符合的，为维持稳态必须消耗能量。热力学的原理使我们可以对能量消耗作一估算，并与有机体的能量平衡相比较（舒尔斯，Schuls，1950 年；贝塔朗菲，1953 年 a）。

试验研究的另一领域，是细胞组织的输入与输出过程中的主动传输，肾功能等等。这与生物电位有关，需要运用不可逆热力学

理论来处理。

在人类机体里，开放系统的原型是恒定地维持着不同浓度水平的血液。代谢物质和进入人体的试剂两者的富集和排除都遵循开放系统的动力学。在这个基础上，有价值的临床试验已得到发展(多斯特，Dost，1953—1962 年)。从广义上看，药物动态作用通常表现在当一种药物注入生命有机体的开放系统时所发生的种种过程。所以，能以开放系统模型作为基础来研究药物动态效果和剂量——效果关系的规律(洛伊，1928 年；德鲁凯里 Druckery 和库普弗穆勒 Kuepfmuller，1949 年；沃纳，1947 年)。

此外，机体对外部刺激反应的过程可以想像为干扰和接着而来的稳态再建。因此，感觉生理学方面的定量规律如韦伯一费希纳定律属于开放系统动力学。黑希特(1931 年)在开放系统正式引进以前，很早就以感光物质的"开式"反应动力学形式表述了感光学理论和现存的定律。

生物学最大量的问题(离精密理论还很远)是形态发生的问题，这是神秘莫测的过程，从差不多毫无差异的原生质小滴(受精卵)，最后转变为奇妙的多细胞有机体结构。至少能研究出一种定量增长的生长理论(参看 162 页以下)。这已成为国际渔业所使用的常规方法(例如，贝弗顿和霍尔特，1957 年)。这个理论综合了新陈代谢生理学和生长生理学的成果，证明各种生长类型如在一定的动物群体中所遇到的那样，只取决于新陈代谢常数。这样，就容易理解生长的异因同果性。即使初始条件不同，或在生长过程中受到阻碍，结果都会达到一个种群特有的最终尺寸。形态发生至少有一部分是通过所谓相对生长而完成的(赫胥黎，J. Huxley，1932 年)，即各种不同器官有不同的生长速率。这是有机体内的那些组分为了争得养料而竞争的结果，可以从开放系统理论中推导出来(第七章)。

不仅细胞、有机体等等可以看作开放系统，而且更高层次的集

合，如生物群落等等，亦可看作开放系统（参看比伊尔，1962、1965年）。开放系统模型用于细胞的连续繁殖方面正像它用于某个技术过程中一样是特别明显的（并有实际意义）（马莱克 Malek，1958、1964年；布鲁纳 Brunner，1967年）。

所举的例子数量不多却可以充分地“简要地说明开放系统模型有着广泛的应用范围。许多年前，人们就指出生命的基本特征：新陈代谢、生长、发育、自我调节、刺激反应、自发活动等等，归根结底可以看作有机体是开放系统这个事实的结果。因此，开放系统理论将成为一个统一的原理，能够在相同的一般概念之下综合各种各样的异质的现象，并且推导出定量的定律。我相信这个预见，总的说来它是正确的，并为大量的试验所证实。

在这些事实的后面，我们可以描绘出一个概括得更广的轮廓。开放系统理论是一般系统论的一部分。这个学说是关于一般地适用于系统的原理，不管这些系统的组分的性质和支配它们的力的性质。借助一般系统论，我们达到了这样一个水平，我们不再谈论物理的和化学的实体，而只讨论完全是一般性质的整体。至今，开放系统的某些原理一直保持其正确性，并可以成功地运用到更为广泛的领域中去，从生态学，种间竞争和平衡，到人类经济和其他的社会学领域。

开放系统和控制论

这里，一般系统论与控制论的关系，开放系统和调节机理的关系是一个重要问题（参看151页以下）。对此，本节将作一点评论。

开放系统模型的基础是它的组分的动态相互作用。控制论模型的基础是反馈环（图2.1），反馈环以信息反馈的方式，维持一个预期值，达到一个目标等等。开放系统理论是推广了动力学和热力学。控制论理论建立在反馈和信息的基础上。两种模型都成功地

应用于各自的领域。但是，人们必须认清它们的区别和界限。

用动力学和热力学阐述开放系统模型是不涉及信息的。另一方面，一个反馈系统在热力学和动力学上是封闭的；它没有新陈代谢。

在一个开放系统里，有序性的增大和熵的减小在热力学上是可能的。"信息量"用一个与负熵形式完全相同的式子定义的。但是，封闭的反馈机制中，信息只能减少，决不会增加，也就是说信息会转化为"噪声"，而不会反过来。

一个开放系统可以"主动地"趋向于更高级的组织状态，也就是说，由于系统内部的条件，它可以从较低的有序状态过渡到较高的有序状态。由于"学习"，即把信息馈送进系统中，反馈机制能"反应性地"达到较高级组织状态。

总之，反馈模型成功地应用于"二级"调节，也就是基于结构安排（广义地理解这个词）的调节。可是，由于有机体的结构在新陈代谢和组分更换时维持不变，"初级"调节必须从开放系统的动态特性中演化而来。由于有机体在发展过程中日益"机构化"，因此后来的调节日益与反馈机制相一致（自动动态平衡、目的行为等等）。

开放系统模型是一个富于创造性的工作假说，允许新的见解、定量论述和实验验证。可是，我想谈谈许多未解决的重要问题。

未解决的问题

现在，我们还没有一个热力学标准，像用最大熵定义封闭系统的平衡态那样，用一种类似的方式来定义开放系统的稳态。在一段时间里，人们认为这样的标准就是最小熵的形成，即通常称为"普里高津定理"的一个论点。尽管某些生物学家仍旧理所当然地采用着这个论点（例如斯托沃特 Stoward，1962 年），但是，普里高津定理及其创始人强调，它只能在颇为严格的约束条件下使用。特别

是，它并没有定义化学反应系统的稳态（丹比夫，1952 年；贝塔朗菲，1953 年 a，1960 年 b；福斯特 Foster 等人，1957 年）。最小熵形成原理的最新概括（格兰斯多夫 Glansdorff 和普里高津，1964 年；普里高津，1965 年）是围绕动力学来考虑的，它的结论还需要评价。另一个未解决的基本问题，来自热力学的一个基本佯谬。埃丁顿（Eddington）把熵称为“时间之箭”（“arrow of time”）。其实，这是用熵函数表示物理事件的不可逆性，把它的方向给予时间；如果没有熵，即在一个完全可逆的宇宙里，过去和未来之间就没有区别。但是，熵函数明显地不包含时间。克劳修斯的封闭系统的经典熵函数和普里高津的开放系统不可逆热力学及推广了的熵函数，两者都是如此。就我所知，雷克（Reck）1953 年曾企图弥补这个缺陷，他试图把时间明显地引进热力学的方程里，使不可逆热力学更加一般化。第二个需要正视的问题是不可逆热力学与信息论之间的关系。有序是组织的基础，因而也是生物学中最基本的问题。在某种意义上说，在传统的波尔兹曼观念里有序能用负熵来度量。人们（例如，舒尔兹 Schulz，1951 年）已经证明在蛋白质长链里，氨基酸的排列不是无规则的。它们的组织完全不是胡乱安排的，而是能用一个叫作链熵（Chain entropy）的术语来度量的。然而，这里还有一种不同的方法来解决这个问题，这就是用信息论框架内是或否（yes or no）的判定即所谓比特（bit）来度量。众所周知，信息用和负熵形式相同的术语来定义，这表明热力学与信息论两种不同的理论体系之间的对应性。精心编制一部词典，把热力学的语言翻译成信息论或把信息论翻译成热力学的语言，这似乎是下一步的事情。显然，推广了的不可逆热力学必将用于这样的目的，因为只有在开放系统中，有序的维持及有序的复杂化才不与熵的基本原理相冲突。

俄国生物学家特林切尔（Trincher，1965 年）得出一个结论：状态函数即熵不适用于生命系统；他把物理学上的熵原理与生物学

上用信息增长所表达的"适应和进化的原理"对立起来。在这里,我们必须考虑到熵原理是有物理基础的,即波尔兹曼推论、统计力学以及在随机过程中必然向最大可能分布的变迁;可是,到现在人们还不能给特林切尔现象学原理以物理学上的解释。

这里论及的基本问题,我想是现代生物学教义所排除的问题。今天的综合进化论认为进化是偶然的突变的结果,据一个著名的比喻(比德尔 Beadle,1963 年)是遗传密码复制时"打字错误"("typing errors")的结果。密码又由选择来引导,也就是说,适应现存外部条件的那些种群或基因型产生最大量的后代。同样,生命的起源被解释成有机化合物(氨基酸、核酸、酶、ATP 等)在原始海洋里偶然的出现;通过选择而形成能够复制的单元,如类病毒、原生的有机体、细胞等等。

与此相反,我们应该指出:选择、竞争和"适者生存",已经假定了自我维持系统的存在;所以它们不能是选择的结果。目前,我们还不知道有哪一条物理学定律能够规定在有机化合物的"汤"里,产生开放系统,即自我维持在最不可几状态下的系统。即使我们承认这样的系统是"给定"的。物理学上也没有一条定律能够说明它们在整体上的进化会朝着增加组织性(也就是不可几性)的方向进行。在这方面,具有最多子代的基因型的选择也无多大帮助。难于理解的是:野兔、青鱼以至细菌的繁殖率其高无比,为什么进化会循着分化繁殖的路线而早已超过这些生物层次呢?产生更高有序性(和不可几性)的内部条件,只有在加入某种"组织力"的情况下,在物理学上才是可能的;晶体的形成就是这种情况,那里的"组织力"以原子价、晶格力等形式表现出来。但是,当基因被认为是一种"打字错误"的积累时,这样的组织力明显地被否定了。

未来的研究必须尽可能地考虑到不可逆热力学、遗传密码方面的信息累积以后者的"组织法则"。目前,以遗传密码来表示遗传物质的词汇,用核苷酸三联体来"拼写",有机体蛋白质的氨基酸。

显然，也必须有密码的语法；用一个精神病学的术语来说，密码不能“语词杂乱”，不能是不相关的字（核苷酸三联体以及蛋白质分中有关的氨基酸）的随机集合。没有这样的“语法”，密码顶多只能够产生一堆蛋白质，而不能产生一个有组织的有机体。某些基因调节的经验表明，在遗传基中确实存在这样的组织；宏观的进化规律也必须研究它们的作用。（贝塔朗菲，1949 年 a；鲁希，Reusch，1961 年）。所以，我相信现在普遍接受的“综合进化论”充其量只是部分真理，不是完备的理论。开放系统理论及其前沿上的问题，除了要在生物学上进一步研究外，还必须从物理学的原理加以考虑。

结 论

有机体的开放系统模型在许多生命现象的解释和数学表述方面已证明是有用的；正像对任一种科学的工作假说所指望的那样，它也导致更进一步的问题，有一部分是根本性质的问题。这说明开放系统不仅具有重要的科学意义，而且还具有科学之后（metascientific）*的意义。到目前为止，自然界的机械论观点主要强调把事件分解为线性因果关系；世界的概念被看作为随机事件的结果，并且是物理学的和达尔文主义的“掷骰子游戏”（爱因斯坦）的结果；生物过程还原为我们从无生命界得知的规律。与此相反，在开放系统理论方面以及它在一般系统论中的进一步的概括中，多变量的相互作用原理（即反应动力学，不可逆热力学方面的流量和力）明显地成为过程的动态组织和物理学定律在生物学范围考虑下的一种可能的扩展。于是，这些发展成了一种新的科学世界观的组成部分。

---

* 科学之后（metascientific），系套用亚里士多德的“物理学之后”（metaphysics，即形而上学），指对科学的哲学概括。——译注

第七章 生物学中若干系统论问题

作为"数量代谢生物学"讨论会的一个引言，讲演者的任务看来该是概述这个领域的概念框架，阐明它所用到的主要思想和理论——或者称之为概念的构思物或模型的应用可能更可取。

人们普遍认为，"观察事实"与"纯理论"这两个方面有着根本的区别。"观察事实"毫无疑问是科学的基石，应该多多益善地收集起来，刊登到科学杂志上去；而"纯理论"则是思索的产物，多少有点可疑。我想我应该首先强调，两者并不是对立的。事实上，就在我们这个领域中，要取得看来很简单的数据，例如测定基础代谢率或体温系数 Q_{O_2}，也需花费不少时间去澄清大量的理论假设。这些理论假设对于形成概念、设计恰当的实验、创制实验器械都是必要的；而所有这些都隐含于未经加工的观察数据中。在获得一系列观察数值之后，人们所能做到的堪称为"经验论"的事情，顶多是用平均值和标准偏差表来描述这些数值。这就预先假定了二项式分配律的模型以及与此有关的整个概率理论，——一种深奥的、在很大程度上尚未完全解决的数学问题、哲学问题乃至形而上学问题。如果你走运，你的数据也许可用简单的方程式来表示，得到一条直线图象。但是，鉴于即使一个简单细胞，其过程也有想象不到的复杂性，那末，在繁多的实例中，能够用上最简单的模型即两个变数的线性方程的，可以说是一种罕见的奇迹。

因此，即使看来是道地的观察事实，也已经渗入了各种各样的概念图象、模型概念、理论或你所选择的某种表达方式。要选择的并不是逗留于数据范围内抑或加以理论化，而是哪种模型，怎样的

抽象程度，一般化程度高一些还是低一些，离开直接观察事实远一些还是近一些，描述观察到的现象适合一些还是不大适合。

另一方面，人们也不要把科学模型看得太认真。美国著名的人类学家克罗埃勃(Kroeber，1952 年)曾经对妇女的服饰做过学术研究。大家知道，妇女的裙子有时长到步履艰难，过一阵子又走向另一个极端，短到不能再短。克罗埃勃做了定量分析，揭示了妇女裙子长度的长期变化趋势以及短期波动。这是一条小小的完美的自然定律，然而它对于自然界的最高实在是毫无用处的。我相信，理智的适度的谦卑，不武断，好脾气，大大有助于关于科学理论和模型问题辩论的顺利进行，要不然就会弄得怒气冲天。

我就是抱这样的态度来讨论数量代谢学领域中四个相当基本的模型。我所选取的有机体模型是开放系统和稳态模型、自动调节动态平衡模型、异速生长模型和所谓贝塔朗非生长模型。这并不是说，这些模型就是我们这个领域中最重要的模型，不过这些模型使用得相当广泛，并且能够阐明概念框架以及其他问题。

开放系统和稳态

现代的任何人研究代谢和生长都不能不考虑到生命有机体以及它的组成部分是所谓开放系统，即不断地与环境交换物质来维持自身的系统。根本之点在于，开放系统超出了传统物理化学的两个分支——动力学和热力学的界限。换句话说，传统的动力学和热力学不适用于生命有机体内许多过程；生物物理学(物理学在生命有机体上的应用)的理论必须扩展。

生命细胞和生命有机体并不是由或长或短地持久的“建筑材料”组成的静态结构或类似机器的结构，从营养物得来“产能物质”在其中分解以供生命过程的能量需要。它是所谓建筑材料和产能物质两者都分解和再生的持续过程。不过，这个衰谢和合成的持续

过程正好调节得使细胞和有机体大致恒定地保持一种所谓稳态(贝塔朗菲)。这是生命有机体的根本奥秘所在;所有其他特征,如代谢、生长、发育、自调节、繁殖、刺激—反应、自发活动等等,都是这个基本事实的最终后果。现在,人们都承认,生命系统的最根本

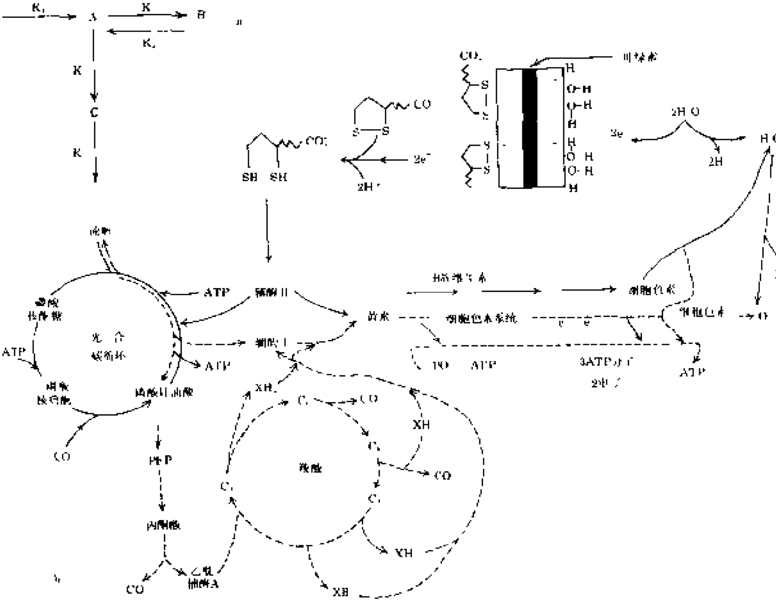


图 7.1

a:简单的开放系统模型,表示稳态的恒定浓度、异因同果性、适应和刺激反应等等。这个模型可以解释为蛋白质合成的简化图式(A:氨基酸,B:蛋白质,C:脱氨基产物;K_1:氨基酸聚合为蛋白质的反应,K_2:解聚作用,K_3:脱氨基反应;$K_2 \ll K_1$,蛋白质合成的能量供应未指出)。形式上作某些修改,这个模型就是 Sprinson 和 Rittenberg 的计算蛋白质转化率的同位素实验模型。(据贝塔朗菲,1953a)

b:海藻光合作用反应循环的开放系统(据 Bradly 和 Calvin,1957)。

的判据是有机体作为“开放系统”而存在。至少在德国科学中是这样看的(如贝塔朗菲,1942 年;蔡格尔 Zeiger,1955 年;布特南特 Butenande,1955,1959 年)。

在进一步阐述之前,我要向德国的同事们表示歉意,因为我在这里详细讲述的事情是他们十分熟悉的东西,而且我本人也曾屡次介绍过。正如多斯特(1962 年 a)在他新近的论文中所说:“我们的儿辈在大学预科考试时就已注意到这件事,”即用动力学和热力学表述的开放系统理论。请记住——只引两个例子——布拉西乌斯(Blasius,1952 年)在我们经典的兰多伊斯—罗斯曼(Landois-Rosemann)教科书新编中以及内特在他的不朽的《理论生物化学》一书中对这个课题的描述。很遗憾,美国的生物物理学和生理学却没有应用这些概念。我徒劳地浏览了美国的主要教科书,连“开放系统”、“稳态”、“不可逆热力学”这些术语都没有找到。确切地说,人们通常忽视或回避这一区别生命系统与传统的非有机系统的根本判据。

把生命有机体看作与环境交换物质的开放系统,包括两个问题:第一,开放系统的静力学,即系统维持不依赖于时间的状态;第二,开放系统的动力学,即系统随时间变化。可以从动力学的观点和热力学的观点来考虑问题。

开放系统理论的详细讨论可以在文献中找到(贝塔朗菲,1952 年 a,1960 年 b 中广泛的文献目录)。

所以,我只限于说一说我将要提到的开放系统的几个重大性质。开放系统和封闭系统的一个根本区别就是:封闭系统最终必定达到不依赖于时间的化学和热力学平衡状态;反之,开放系统在一定条件下可能达到一种叫作稳态的不依赖时间的状态,用我 20 年

前的术语，即 Fliessgleichgewicht*。处于稳态的系统，尽管它的组分不断交换，却保持恒定的构成。稳态是异因同果的(图 6.1)，也就是说，从不同的初始条件和不同的途径可以达到同样的不依赖时间的状态；传统物理系统则不大相同，它的平衡状态是由初始条件所决定的。因此，即使最简单的开放反应系统也呈现出可以解释生物学上的补偿和再生等等的特征。此外，经典热力学由其定义，只涉及到封闭系统，它与环境没有物质交换。为了论述开放系统，必须使它扩展和推广，这就是不可逆热力学。它的结论之一，解开了古老的活力论之谜。根据热力学第二定律，物理事件的总方向总是趋于熵最大、概率最大以及分子无序程度最大的状态，而降低原有的分化水平。与第二定律相反并"极端矛盾"(亚当斯，Adams，1920 年)，生命有机体把自己维持在非常不可几的状态，尽管处于持续的不可逆过程中仍然维护住它们的有序状态，在胚胎发育和个体演化时期，甚至还趋向更高的分化状态。考虑到经典的第二定律的定义仅仅在封闭系统的范围内有效，这个表面上的谜也就消失了。开放系统摄取富于高能量的物质，维持高度的有序状态甚至前进到更高的有序状态，在热力学上是允许的。

生命系统是在它们的组分或快或慢地进行交换、衰退和再生、合成代谢和分解代谢的情况下来维持自身的。生命有机体是有层次结构的开放系统。在某一层次看起来持久不变的结构，实际上是靠低一层次的组分的不断交换来维持的。因此，多细胞有机体是在细胞交换中并依靠细胞交换来维持自身；而细胞则是在细胞器的交换中维持自身；细胞器又是在它赖以组成的化学分子的交换中维持自身。相应的组分愈小则其更新速率愈快，这可说是一条普遍规律。这就很好地解释了为什么生命有机体在赫拉克利特河流**

* 德语，直译为"流动的平衡"。——译注

** 古希腊哲学家赫拉克利特说：人们不能两次走进同一条河流中去。——译注

中，并依靠赫拉克利特河流维持自身。

关于开放系统的静态就说这些。让我们看一看随时间变化的开放系统，也会发现一些引人注目的特征。开放系统随时间变化是可能发生的，因为生命系统开初是一种不稳定状态，而后趋于稳态。粗略地说，这种变化就是在生长和发育现象。此外，稳态可以由于外部条件的变化，即所谓刺激而被扰动，粗略地说，这包括适应性变化和刺激—反应。这里存在着与封闭系统有很大不同的特征。一般地说，封闭系统以逐渐逼近的方式趋向平衡状态。开放系统则不然，它可能发生起动不及和过调节的现象(图 6.2)。换句话说，如果我们找到过调节和起动不及的现象——如在许多生理现象中找到的实例——我们可以预计这将是一种具有某种可能推导的数学特征的开放系统过程。

回顾近几年的工作(见第六章)，我们看到，由于考虑了生物稳态的根本性质，把有机体看作开放系统的理论正在蓬勃发展。举出上面的例子，是因为在舍恩海默(Schonheimer，1947 年)的基础研究和他的小组用同位素示踪法研究了“身体构成要素的动力学状态”之后，美国的生物学界还令人惊讶地无视这一领域。美国生物学在控制论概念的影响下，相当程度上回到了细胞和有机体的机器观念，从而无视开放系统理论所提出的重要原理。

反馈和自动调节动态平衡

美国学派对开放系统理论不熟悉，而对另一种模型结构却很熟悉。那就是反馈调节的概念。这是控制论的基础，坎农的自动调节动态平衡概念对它作了生物学上的系统阐述(如维纳，1949 年；瓦格纳，1954 年；米特尔斯泰特 Mittelstaedt，1954、1956 年；克门特 Kment，1957 年)。我们只对它作一个简短的描述。

众所周知，这个基本模型是一个循环过程，部分的输出作为反

应的初步结果的信息，有控制地回授到输入中去(见图 7.2a)，因而，在维持某些变量的意义上或者在引向一个预期目标的意义上，使系统成为自调节。在第一个意义上自调节的例子，有最简单的恒温器，有生命有机体维持体温以及其他一些参数的恒定。在第二个意义上的自调节的例子，有自航导弹，有随意运动的本体控制。在技术中和在生理学中更复杂精致的反馈装置是这个基本型式的变形或集合。

生理学的全部领域广泛地分布着遵循反馈图式的调节现象。更有甚者，这个概念风靡了一个时代；在这个时代中，控制工程和自动化繁荣昌盛，计算机、侍服机构等等成为兴趣的中心，而"把有机体看作侍服机构"的模型成为机械化社会的时代精神。因此，反馈概念往往僭居垄断地位，压制了同等重要的和富有成效的其他观点。通常，反馈模型被等同于"系统论"了(克罗丁 Crodin，1963年；琼斯 Jones 和格雷，1963 年；凯塞 Casey，1962 年)，"生物物理学"差不多等同于"计算机设计和信息论"了(埃尔萨瑟，1959 年)。因此，强调如下的论点至关重要：反馈系统和"自动动态平衡"控制是有重大意义的，但是它们只是特殊种类的自调系统和适应性变化现象(参看第六章)。下列各点是反馈控制系统的基本准则：

(1) 调节依赖于预先建立的装置(广义地说，"结构")。德国术语 Regelmechanismen* 清楚地说明，它所面对的系统是"机械"性质的系统。它和"动力学"性质的调节不同。后者来自力与自由相互影响以及组成部分彼此之间相互作用，而趋向于平衡或稳态。

(2) 反馈系统内部的因果系列是线性的和单向性的。反馈的基本图式(图 7.2)仍是经典的刺激—反应图式，只是加上了反馈连接，因而因果性变成循环的了。

* 德语 Regelmechanismen，意即调节机械装置。——译注

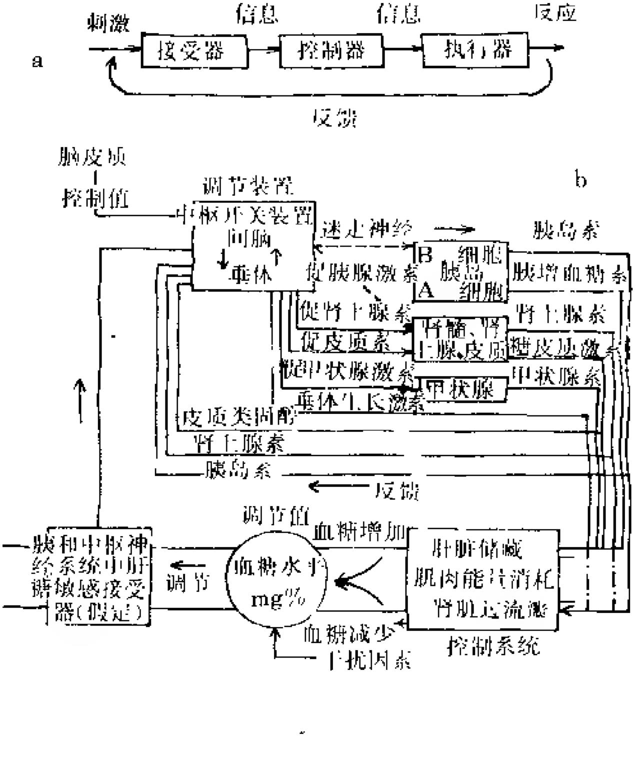


图 7.2

a:简单反馈图式。b:血糖水平的自动动态平衡调节。(据 Mittelsteadt,1954 年)

(3) 典型的反馈或自动动态平衡现象对于输入信息是“开放”的,而对于物质和能量则是“封闭”的。因此,信息论的概念——特别是与信息等价的负熵——对应于“封闭”的热力学(热静力学),

而不是对应于开放系统的不可逆热力学。然而，后者是以系统（如生命有机体）是否"自组织"（弗尔斯特 Foerster 和佐普特 Zopt，1962 年），即是否趋向更高的分化水平为先决条件的。正如上面所提到的，两者还没有综合起来。控制论图式通过方框图，可以澄清生理学中许多重要的自调节现象，而且有助于信息理论上的分析。开放系统图式则可以进行动力学和热力学分析。

把反馈流程图（图 7.2）和开放系统流程图（图 7.1）进行比较，可以直观地看出它们的差异。所以，开放系统动力学和反馈机制是两种不同的模型概念，在各自特定的范围内各有自己的地位。开放系统模型从根本上说是非机械论的，不仅超出了传统的热力学，而且还超出了传统物理学的理论基础——单向因果性（参阅第四章）。控制论方法保留着笛卡儿的有机体机械模型、单向因果性和封闭的系统。它的新奇处在于引入了超出于传统物理学的概念，特别是引入了信息的概念。最后，开放系统和反馈这一对概念是"过程"和"结构"这对古老的对立面的一种现代化表述；它们最后必将在某些新的综合中得到辩证的解决。

从生理学上讲，反馈模型说明了新陈代谢以及另外一些领域中可称之为"二级调节"的现象，即通过预先建立好的机构和固定通道的调节现象，如神经激素控制。由于它的机械性质，特别适用于器官和器官系统的生理学。另一方面，开放系统中反应的动态相互作用则适用于"初级调节"，如细胞代谢（参阅黑斯和钱斯，1959 年），那里存在更一般和原始的开放系统调节。

异速生长和表面积定律

我们接着讨论第三个模型，即所谓异速生长原理。大家知道，新陈代谢以及生物化学，形态发生、进化等许多现象都遵守一个简单的方程式：

$$y = bx^a$$

这就是说，如以变量 y 的对数对变量 x 作图，则得出一条直线。应用这个方程式的实例多得很，不必再举例赘述。我们还是来考查一下它的基本原理吧。所谓异速生长方程实际上是相对生长定律的一种最简单的情况。相对生长这个术语，作最广义的理解，就是一个变量 y 的增长与另一变量 x 有关。我们把方程式写成另一种形式，就可以立刻看到这一点：

$$\frac{dy}{dt}\cdot\frac{1}{y}:\frac{dx}{dt}\cdot\frac{1}{x} = R.G.R.(y,x) = a \qquad (7.2)$$

式中 $R.G.R.$ 即相对生长率。显而易见，异速生长方程是这个函数的一个解，它表明变量 y 的相对增长与 x 的相对增长的比率是一个常数。鉴于任何的相对生长——只限于连续的——可以一般地表达如下：

$$R.G.R.(y,x) = F \qquad (7.3)$$

我们就可以简单地得出异速生长关系。式中 F 是有关变数的某个不定函数。最简单的假设是 F 等于一个常数 a，这就是异速生长原理。

然而，大家知道，历史上异速生长原理是以一种与上述推导完全不同的途径进入生理学的。在 1840 年前后，萨律(Sarrus)和雷米尤克斯(Rameaux)发现这一原理时，它以更加特别的形式出现：不同体重的动物的代谢率的增长并不与体重成正比，而与表面积成正比。这就是著名的代谢表面积定律或鲁布纳定律(law of

Rubner)的起源。鲁布纳 1880 年的原始资料是值得一看的(表 7.1)。不同重量的狗，若以单位重量来计算，代谢率是下降的；若以单位表面积来计算，代谢率近似地保持一个常数，大约每天每平方米 1000 千卡。大家知道，所谓表面积定律曾经引起重大的争论，做了不少文章。实际上，鲁布纳定律是异速生长函数的极为特殊的例子，y 代表基础代谢率，x 代表体重，而指数 a 等于 2/3。

表 7.1 狗的体内代谢(据鲁布纳，1880 年前后)

体重(公斤)	每公斤产生的卡	每平方米体表产生的卡
3.1	85.8	1909
6.5	61.2	1073
11.0	57.3	1191
17.7	45.3	1047
19.2	44.6	1141
23.7	40.2	1082
30.4	34.8	984

我相信，上述推导正确地透视了表面积定律的真情。我们把表面积定律看作异速生长的一个特例，并且如实地看待异速生长方程：它是一个可用于惊人广泛的现象范围的、高度简化的近似式，但它既不是教条，也不能解释一切事物，这样，80 多年来没完没了的争论就解决了。其次，我们要预计到代谢量和身体尺寸的各种各样的异速生长关系——鉴于许多代谢过程受控于表面积这一事实，表面积函数或 2/3 幂函数占有某种数量上的优势，这恰恰是我们的发现(表 7.2)，换句话说，2/3 不是一个神秘的数字。不久前有人(布罗迪 Brody，1945 年；克莱伯 Kleiber，1961 年)提出，3/4 的指数比经典表面积定律更好，但这也不是神圣不可侵犯的。连"代谢率渐减定率"(莱曼 Lehmann，1956 年)这样的表述都不恰当，因

为有一些代谢过程并不随身体尺寸的增长而减退。

表 7.2 哺乳动物体重与各种特性的定量关系
（据阿道尔夫 Adolph，1949 年。有修改）

衰退 $a=$		衰退 $a=$	
摄水（毫升/小时）	0.88	肌蛋白重量（克）	1.31
排尿（毫升/小时）	0.82	细胞色素重量（克）	0.62
尿素清除（毫升/小时）	0.72	肾数	0.62
菊粉清除（毫升/小时）	0.77	肾体直径（厘米）	0.08
肌酸清除（毫升/小时）	0.69	肾重量（克）	0.85
典司特（透影剂）清除（毫升/小时）	0.89	脑重（克）	0.70
马尿酸盐清除（毫升/小时）	0.80	心重（克）	0.98
氧的基础消耗（毫升 STP/小时）	0.734	肺重（克）	0.99
心搏持续时间（小时）	0.27	肝重（克）	0.87
呼吸持续时间（小时）	0.28	甲状腺重（克）	0.80
换气率（毫升/小时）	0.74	肾上腺重（克）	0.92
肺活量（毫升）	1.01	脑下腺重（克）	0.76
内脏搏动持续时间（小时）	0.31	胃十肠重（克）	0.94
氮输出总量（克/小时）	0.735	血重（克）	0.99
氮内源代谢输出（克/小时）	0.72		
肌酸氮输出（克/小时）	0.90	表面积定律：	$a=0.66$
硫输出（克/小时）	0.74	取绝对重量（$y=b\omega^a$）	
肝脏氧耗（毫升 STP/小时）	0.77	$a=0.33$，取单位	
血红蛋白重量（克）	0.99	重量（$y/\omega=b\omega^a$）	

此外，由此可得出：代谢率对身体尺寸的依赖关系并不如表面

积定律所假定的那样一成不变。它完全可以变动，而且实际上也是变动的，特别是函数与(1)所讨论过的那个有机体或组织，(2)生理学上的条件，(3)经验因素有关。

关于代谢率随有机体或组织的不同而变化的情况，我将在下面举出一些关于总代谢的例子。图 7.3 表明多种不同的组织，其 Qo_2 对不同身体尺寸的依赖关系。表 7.3 举出相似的例子，关于种内和种间的异速生长的比较。我们实验室获得的资料证明代谢率对身体尺寸的依赖关系因生理学上的条件而异，在那一方面所做的工作还极少。用异速生长指数 a 表示的代谢对身体尺寸的依赖关系有所变化，取决于测定的是基础代谢率(B.M.R)，还是静止代谢，或肌肉活动代谢。图 7.4 比较了老鼠的基础代谢率和非基础代谢率，表明了 a 的这种变化。图 7.5 给出了关于小鼠的更深入比较，包括不同程度的肌肉活动。这些数据证实了洛克的陈述(1961 年 a)，随着代谢速率的增加，a 倾向于减小。当比较处于节食状态和非节食状态的动物时，在无脊椎动物中也找到了退化线斜率的这种变化(图 7.6)。a 值随实验条件的变化应得到比通常更多的注意。人们一般认为 Qo_2 是所研究组织的一个特征常数。其实，决不是这么回事。对于不同的基准，如鲜体重量、干体重量，N— 含量等，都表现出了 a 的变化(洛克，1961.a)。表明这一点的最简单的办法莫过于改变介质了。正如每一个实验工作者都知道的，不仅 Qo_2 的绝对值的变化很大程度上依赖于这种介质，例如，所用代谢物的含盐度或介质；而且对于身体尺寸的依赖关系或参数 a 也是这样(图 7.7)。前面提到的洛克规则，再一次被证实；图 7.4、7.5 和 7.7 总结的实验证实了洛克规则，这特别具有说服力，因为它们是独立于并先于洛克规则得到的。不同介质中 Qo_2 的变化表明我们测定了呼吸过程中的不同的局部过程。

表 7.3 相同物种及不同物种各种器官的异速生长(常数 *a*
(根据贝塔朗菲和皮罗金斯基,1952 年)

	老鼠 贝塔朗菲和皮罗金斯基	布诺蒂	猫	狗	猴 不同作者	牛	马	成年哺乳动物不同物种间
脑	0.20	0.17		0.25	0.62	0.30	0.24	0.66
								0.69
								0.58
								0.54
心	0.82	0.80	♂0.92	1.00	0.69	0.93		0.83
			♀0.82	0.86				0.82
				0.93				0.85
								0.84
								0.98
肺	0.73	0.75		0.82	0.92		0.58	0.98
	1. 循环	1. 循环						0.99
肝	1.26	1.14		0.71		0.70	0.61	0.87
	2. 循环	2. 循环						0.88
	0.67	0.68						0.92
肾	0.80	0.82	♂0.65	0.70			0.66	0.85
								0.87
			♀0.61					0.76

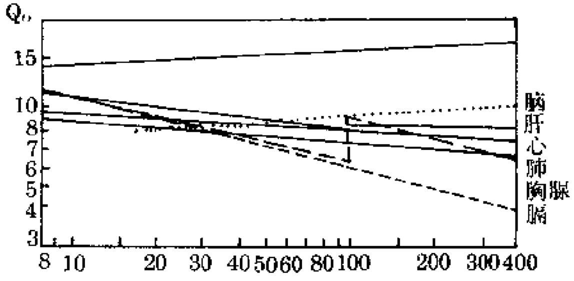


图 7.3 老鼠一些组器的 Q_{O_2}(微升 O_2/毫克干重/小时)。只给出了回归线及相应的数据;全部材料见原始记录(根据贝塔朗菲和皮罗金斯基,1953年)

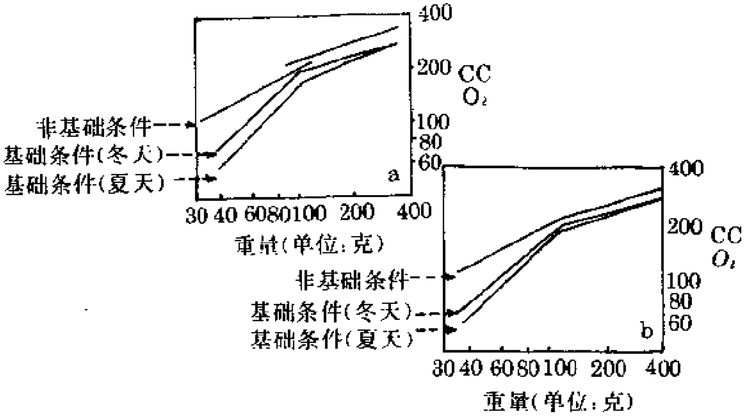


图 7.4 基础和非基础条件下老鼠新陈代谢速率对尺寸的依赖关系。

实验前动物节食 18 小时(小动物减少);在 29° 30℃下测定,肌肉静止状态。回归线在体重大约 110 克处转折,对应于许多生理学变化(参看图

7.9),"基础条件(夏天)"的测定,在实验之前经历了15 -18个小时的人造气候,保持在热力学中性;"基础条件(冬天)"未经历人造气候;"非基础条件"则经历了10小时节食,在实验前45- 60分钟进食一次。a:雄性,b:雌性。(未发表过的数据是由瑞森和冯·贝塔朗菲那里得到的)

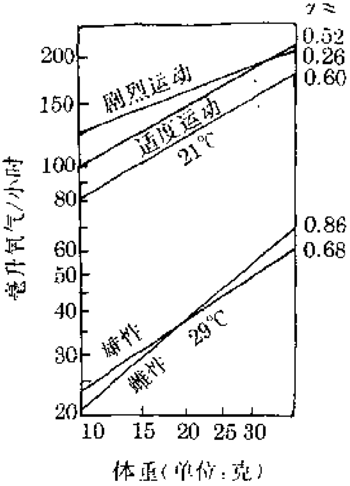


图 7.5　老鼠新陈代谢速率对尺寸的依赖关系

在29℃及21℃下测定;事先经历了节食和人造气候,在涉及肌肉活动的实验中,数据的离散主要是由于保持持续恒定的活动。因此,回归线的斜率将减小这一定量的陈述已被很好地证实了。但是,不应在 a 的具体数值上附加任何具体意义。(未发表过的数据是由瑞森和冯·贝塔朗菲那里得到的)

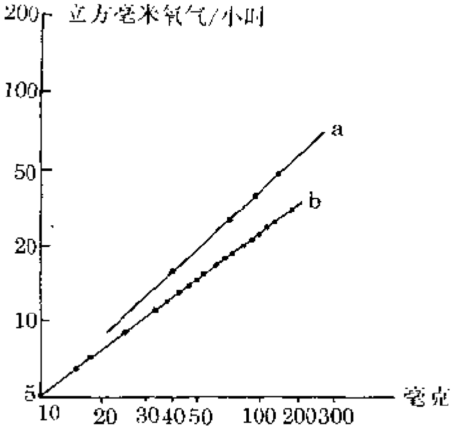


图 7.6　Tenebrio molitor 幼虫的氧消耗(20℃)a:进食的幼虫;b:饥饿二天。在b中,结合了米勒(Müller)和泰西尔(Teissier)的数据。(根据冯·贝塔朗菲和米勒所提供的材料,1943年)

这就是为什么我怀疑全代谢或B.M.R.可以通过所谓组织

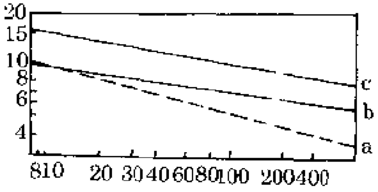


图 7.7 隔在不同介质中的 Qo_2 对尺寸的依赖关系

a:Krebs-Ringer 磷酸溶液;b:Krebs 介质Ⅱ,类型 *A*,带有葡萄糖;c:相同的介质,带有葡萄糖和代谢物。(根据冯·贝塔朗菲和埃斯特威克,1953 年)。

呼吸的累加来获得的原因(马丁 Martin 和富尔曼 Fuhrmann,1955 年)。个别组织的 Q_{O_2},哪些应当相加?比如说,在 Ringer 溶液中,得到的 Qo_2 和从含代谢物介质中得到的 Qo_2 哪个应当加倍?各种不同组织的 *a* 值如何相加成 3/2 或 3/4,符合于观察到的动物整体的 B.M.R?同样,洛克,(1962 年)曾指出,组分的 Q_2o 过程,如糖和脂肪的氧化,也可能有不同程度的下降。

在结束这个题目之前,我想再对原理做一番评论。我们不得不承认,异速生长的方程充其量不过是一个简化了的近似方程。然而,它又不仅仅是数据作图的一个简便方法。尽管它有简化这一特征和数学上的一些缺点,异速生长原理仍不失为对生理过程的相互依赖、组织性和协调性的一种表述。正是因为各过程是协调一致的,有机体才保持着生命和处于稳态。许多过程都遵守简单的异速生长原理,这一事实表明它是关于过程协调性的一般规律。阿道尔夫(1949 年)说:“既然有这么多性质能够用同一种形式的方程恰当地联系起来,那么别的一些性质似乎不大可能会与另一种完全不同形式的方程联系起来。因为如果那样的话,它们就会同已考察过的那些性质不相容了。”

此外，虽然我们遇到的异速生长常数取值范围很广，但这决不是偶然的。至少，它们在很大程度上依赖于生物技术原理。工程技术上的一条基本原则就是，任何一种机器，如果建造成不同大小，就需要有相应比例的改变，才能保持其功能，例如，把小型模型放大到实际工作的尺寸。人们可以在某种程度上理解为什么某种形式的异速生长，如对表面积、身体重量等的依赖关系，在一系列的特定情况下出现。京德(Günther)和盖拉(Guerra)对生物相似性的研究(京德和盖拉 1955，1957 年)，对鸟类翅膀(莫伊尼尔 Meunier，1951 年)、脉搏频率(贝塔朗菲，1960 年 b)以及脑重量(贝塔朗菲和皮罗金斯基，1952 年)同身体尺寸的关系的研究，都是异速生长的功能分析的例子。我相信，这将成为今后研究工作的一个重要领域。

动物生长理论

我要讨论的最后一个模型是生长模型，被人们尊称为贝塔朗菲方程(贝塔朗菲，1957 年 b，1960 年 b)；其基本思想可以追溯到德国著名生物学家皮特尔(1920 年)。我也不打算在这里讨论模型的细节以及它的优缺点；我只想通过这一模型来弄清新陈代谢定量研究中的一些基本原理。

首先，我们都知道，生长过程是极为复杂的；其次，流行着许多公式，声称令人满意地描述了观察到的生长数据和曲线。一般的做法是先假设某些或简或繁的、多少有点道理的方程。然后，研究者坐下来用那些公式计算几条生长曲线，如果得到与生长的经验数据足够近似的曲线，那么这个方程就算是满意的了。

我们首先必须打破一种错觉。数学中近似法告诉我们，如果有三个或三个以上的任意参数，几乎可以作出所有的近似曲线。也就是说，如果一个方程中存在着三个以上所谓常数的话，那就不可能

是别的样子了。完全可以不管所选择方程的特殊形式;使用起来最简单的是幂级数方程($y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots\cdots$),比如说,展开到三次方项。这类计算不过是数学练习罢了。只要允许更多的后续项,总能获得更好的近似。

结果,曲线的拟合成了一种室内活动,成了内插法和外推法大显身手的地方。然而,对经验数据的近似并不能证明所使用的数学表达式。只有当:(1)出现的参数可以被独立的实验证实,(2)从理论中可以推导出对于尚未观察的现象的预言,才能谈得上证明,谈得上表达一种理论的方程式。正是在这种意义上,我打算讨论所谓的贝塔朗菲生长方程,因为,就我所说,它们是这一领域中唯一尽力满足以上所提到的要求的方程。

论据也很简单。如果一个有机体是开放系统,它的增长或生长速率($G.R$)能非常一般地用如下形式的平衡方程表达:

$$\frac{d\omega}{dt} = G.R. = \text{合成} - \text{衰谢} + \cdots\cdots \qquad (7.4)$$

即用建筑材料的合成量和衰谢量之差,加上若干个可能影响生长过程的不确定因素来描述体重的增长。为了不失一般性,我们可以进一步假设各项是有关变量的某种未定义函数:

$$G.R. = f_1(\omega,t) - f_2(\omega,t) + \cdots\cdots \qquad (7.5)$$

那么,我们立刻看出,时间 t 不应当出现在方程中。因为至少有某些生长过程是异因同果的,即相同的最终值可以在不同的时刻达到(图 6.1)。即使没有严格的数学证明,我们也能凭直觉看出。如果生长速率直接依赖时间,就不可能是这样的了;因为如果依赖时间,就不可能在相同的时刻具有不同的生长速率,但实际上往往有不同的生长率。

因此,如果我们暂时把讨论限于最简单的开放系统图式,那么所设各项应是身体质量的函数:

$$G.R. = f_1(\omega) - f_2(\omega) \qquad (7.6)$$

使各项成为身体质量的幂函数，这是我的能够做的最简单假设。而且，经验也确实告诉我们，生理过程对身体尺寸的依赖关系可以相当普遍地表示为异速生长关系式。这样，我们有：

$$\frac{d\omega}{dt} = \eta\omega^n - k\omega^m \tag{7.7}$$

这里，η 和 k 分别是合成代谢常数和分解代谢常数，并同异速生长方程的一般形式对应。

数学讨论进一步表明，指数 m 对 1 的微小偏离对获得的曲线形状并无太大的影响。因此，作为进一步的简化，我们令 $m-1$ 。这使得数学上大为简单，而且生理学上似乎也是合理的，因为生理学经验——在局限程度上是正确的——似乎表明，建筑材料的分解代谢，特别是蛋白质，近似地同当时的身体质量成正比。

现在，让我们跨前一大步。建筑材料的合成需要能量，对于呼吸氧气的动物来说，这些能量需要通过细胞的呼吸过程，最终由 ATP 系统来提供。让我们假定动物的能量代谢和合成代谢过程之间存在着某种相关性。这一点至少在一定限度内有些道理，因为能量代谢必然以这种或那种方式满足身体组分的合成需要。这样，我们用新陈代谢率对身体大小的依赖关系来代替合成代谢对身体大小的依赖关系($n=a$)，得到简单的方程：

$$\frac{d\omega}{dt} = \eta\omega^a - k\omega \tag{7.8}$$

这一方程的解是：

$$\omega = \left\{\frac{\eta}{k} - \left(\frac{\eta}{k} - \omega_0^{(1-a)}\right)e^{-(1-a)Kt}\right\}^{1/1-a} \tag{7.8}$$

其中 $t=0$ 时刻，重量 $=\omega_0$

经验告诉我们，许多动物的静态新陈代谢依赖于表面积，即服从鲁布纳定律。在这种情况下，我们令 $a=2/3$。另外一些动物却直接依赖于身体质量，那么 $a=1$ 。最后，也发现在有些例子中，新陈代谢率是介于表面积和身体质量比例之间的，也就是 $2/3<a<1$。

我们尝试性地把新陈代谢率对身体尺寸依赖关系的这些差别，称为“新陈代谢类型”。

表 7.4 新陈代谢类型和生长类型。w，l：t 时刻的体重、身长；w_0·l_0：初始体重、身长；w^*l^*：终极体重、身长；η，k：合成代谢和分解代谢常数。（据贝塔朗菲，1942 年）

新陈代谢类型	生长类型	生长方程	例子
1. 呼吸作用与表面积成比例	a. 线度生长曲线：不存在拐点，趋于稳态 b. 体重生长曲线：S 型，在最后的曲线 1/3 体重处有一拐点，趋于稳态。	$\frac{d\omega}{dt}=\eta\omega^{2/3}-k\omega$ a) $l=l^*-(l^*-l_0)e^{-kt/3}$ b) $\omega=[\sqrt[3]{\omega^*}-(\sqrt[3]{\omega^*}\ \omega_0)e^{-kt/3}]^3$	瓣鳃动物、鱼哺乳动物
2. 呼吸作用与体重成比例	线度及体重指数生长曲线，不存在稳态，但生长会因变态和季节周期而中断	$\frac{d\omega}{dt}=\eta\omega-k\omega=c\omega$ a) $l=loe^{ct/3}$ b) $\omega=\omega_0e^{ct}$	昆虫幼虫、直翅目、大蜗牛科
3. 呼吸作用介于表面积比例和体重比例之间	a. 线度生长曲线：存在拐点，趋于稳态 b. 体重生长曲线：S 型与 I (L)类似	$\frac{d\omega}{dt}=\eta\omega^d-k\omega$； $2/3<d<1$ $\frac{dl}{dt}=\frac{\eta(3a\quad 2)}{3}-\frac{k}{3}l$	扁卷螺科

显而易见，如果把不同的 a 值代入我们的基本方程，就会产生

许多不同的生长曲线。我们把它们称作“生长的类型”。这些都概括在表 7.4 中;图 7.8 的曲线则表示了不同代谢行为及随之而来的不同的生长曲线。理论上的讨论详见别处。已经表明,以上的推导在许多场合中是适当的,可以举出不少于 14 种论据来证实这一理论(表 7.5,图 7.9,7.10)。我们把讨论局限于对原理的几点评论上。

生长方程中的所有参数都能通过实验证明。a,代谢率对身体尺寸的依赖性,决定了生长曲线的形状。这种相关性已被广泛的事例证实,如表 7.4 所示。k,分解代谢常数,作为级近似符合于全部蛋白质的更新(r),这已由同位素示踪和其它技术手段所确定。例如,从生长曲线计算出分解代谢率,老鼠是 0.045/天,人是 1.165 克蛋白质/千克体重/天(贝塔朗菲,1938 年)。但是那时能够进行的蛋白质分解代谢测定同这些预测不相吻合:根据泰罗因(Terroine)通过最小氮排泄法测定的老鼠蛋白质损失是 0.00282/天,人约为 0.4—0.6 克蛋白质/千克体重/天(贝塔朗菲,1942 年)。后来使用同位素方法(斯普林森和里坦博格,1949 年,表 6.2)测定老鼠全部蛋白质的更新率是 0.04/天,人是 1.3 克蛋白质/千克体重/天,实验值同预言值惊人地吻合,因而严格地证实了这一理论。顺便指出,可以通过好几种不同的方法来获得类似于从同位素实验中得到人的更新速率估计值($r \approx 0.009$,$t \approx 110$天)。如也能从饥饿时的热量损失得到($t = 100$ 天。多斯特 Dost,1962 年 a)。η,合成代谢常数,在量纲上比较复杂。然而,它也能够通过有关有机体的生长曲线的比较来检验:根据理论,代谢率的比值应当同所研究动物的 η 的比值相对应。这一点也已被证实(图 7.10)。

这样,这一理论就满足了前面提出的第一项要求,即,通过独立的实验来验证计算出来的参数。如别处所述,它也满足第二项要求:根据理论做出“令人吃惊”的预测,即当时还不为人所知,而在以后得到了证实。

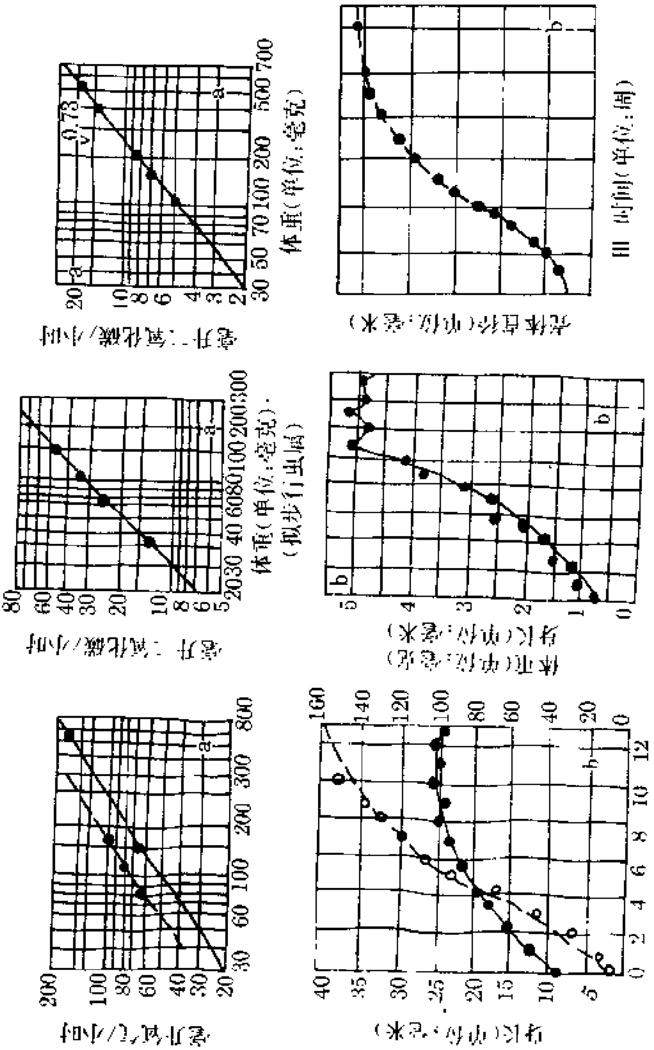


图 7.8 新陈代谢及生长类型

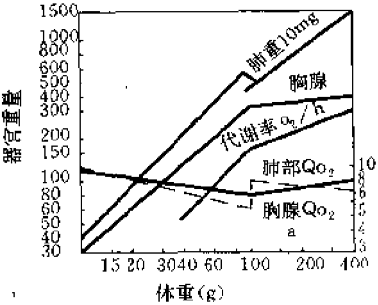
类型Ⅰ:虹鱼;类型Ⅱ:昆虫幼虫;类型Ⅲ:扁卷螺。a:新陈代谢速率对身体尺寸的依赖关系;b:生长曲线。(根据贝塔朗菲,1942年)

讨论一下几种典型的责难也不无好处，因为这有助于一般地理解数学模型。

表 7.5　鲟鱼的生长（据贝塔朗菲，1942 年）

时间 年	长度（厘米）		k
	观察	计算	
1	21.1	21.1	
2	32.0	34.3	0.062
3	42.3	41.5	0.062
4	51.4	50.8	0.061
5	60.1	59.5	0.061
6	68.0	67.8	0.061
7	75.3	75.5	0.060
8	82.3	82.2	0.060
9	89.0	89.7	0.059
10	95.3	96.2	0.059
11	101.6	102.3	0.059
12	107.6	108.0	0.060
13	112.7	113.4	0.059
14	117.7	118.5	0.059
15	122.2	122.5	0.058
16	126.5	127.9	0.059
17	130.9	132.2	0.059
18	140.2	140.0	0.060
19	145.0	143.5	0.061
20	148.6	146.9	0.061
21	152.0	150.0	0.061
22			

生长方程：$L = 201.1 - (201.1 - 21.1)^{0.064}$。由于生长曲线的规则性，贝塔朗菲方程最适宜于鱼类生长的计算。在这个例子中，生长常数的计算方式与化学反应的反应常数相似。这个参数的变化是很小的，因而显示出方程的适宜性。



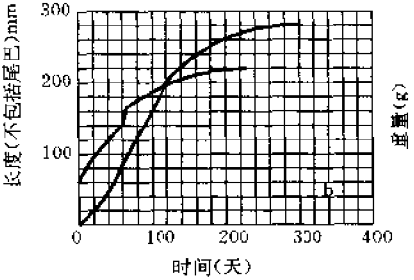


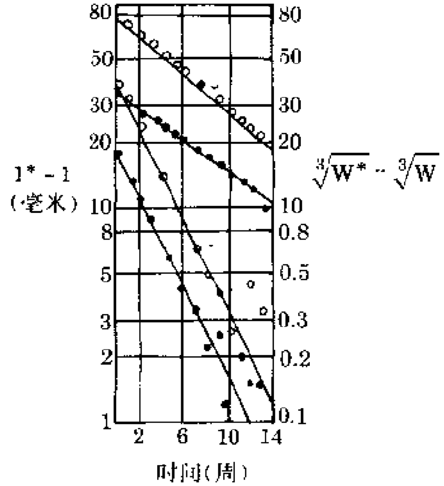
图 7.9　白鼠生长的计算

白鼠的许多生理过程在体重约 100 克处即青春前期显得不连续(a)。在新陈代谢方面也表现出这样的“周期”(图 7.4),动物体重在 100 克以下,代谢率的增长高于表面积法则所给出的水平,而动物体重在 100 克以上则低于这个水平。然而从整个体重范围来计算回归线,结果其总平均值接近于 2/3。所以,生长曲线的计算(1)两个“周期”应在≈100 克处分离,(2)作为一级近似,白鼠的生长应能使用“类型 I ”的公式即 $a \approx 2/3$ 来计算。在生理测定(b)之前所作的生长数据计算的两个预期值得到证明。第二个周期(青春后期)合成常数(K)是 $K \approx 0.045$/ 日 ,非常接近于用同位素示踪法测定的蛋白质转

化率（$r=0.04/$日）。（据贝塔朗菲，1960b）

（1）对有关生理学现象的模型和定律的主要责难是“过于简化”。在动物生长这样的过程中，在细胞层次上，存在着无数的物理和化学性质的微观过程：中间代谢中的所有反应，以及诸如渗透性、扩散、主动输送和无数的其它因素。在器官层次上，各个组织在细胞更新和生长方面的行为都不相同；除了细胞分裂外，还包括细胞中间物质的形成。有机体整体的组成，随着蛋白质量的改变、脂肪的沉积或单纯的摄水量的改变而发生变化；器官的相对重量的变化，更不用说形态发生和分化，目前都难以用数学公式表达。难道任何简单的公式和模型不都是要强迫自然就范吗？它们将实在强按在普罗克拉斯提斯之床上，鲁莽地将不符合模型的东西砍掉。回答是，一般来说，科学所使用的模型；在很大程度上都存在着过分简化的问题。科学的每一个定律和模型都有着理想化的一面。伽利略的学生托里拆利就直率地说过，如果石球、金属球等等都不遵守这个定律，那么这个定律就太糟糕了。玻尔的原子模型是人们曾经设想过的模型中最武断地简化的模型——但它却成了现代物理学的基石。过分简化的模型在随后的发展中不断修正，是达到从概念上把握自然界的最有力的手段，实际上也是唯一的手段。要说我们这个模型过分简单化，是很不正确的。我们所涉及的**平衡方程**，在许多复杂的和部分未知的过程中是相当普遍的。这种平衡表示式的合法性是靠具有说服力的实践建立起来的。例如，当我们谈到B.M.R.——而且，实际上我们能够建立起如“表面积定律”那样的定量关系——这就是平衡方程，我们不过是从理论和实践两方面去说明它的重要性而已。这样观察到的规律不会被过分简化这种“一般理由”所驳倒，而只屈服于经验和更好的解释。通过引进几个新的参数，就能够很容易地使生长模型显得符合实际，更符合数据。然而，只要这些参数不能被实验检验，我们所得到的结果也就是虚假的；而且由于以上所提到的原因，如果“自由常数”的数目增

加了，与实验数据符合得更好了，也不能说明那个公式有什么功劳。



上部两条线，♂下部两条线，♀。○指体重，·指身长。虹鳟鱼中雌性的生长与雄性的生长有很大的差别，雌性的体重达雄性的许多倍。根据方程(7.8)的积分得出的数据，取其对数标在图上；密切吻合表明生长曲线正确地被复制出来。这样得出的生长方程对于雌性和雄性给出 1∶15 的分解代谢常数 η。根据理论，雌性和雄性的新陈代谢率与实际得出的一样稳定于 1∶1.5(图 7.8，*I*)。(据贝塔朗菲，1938 年，1960 年)

图 7.10 虹鱼的生长

(2) 另一个问题就是参数的选择。我们在上面已经特别提到，基础条件和非基础条件下的代谢率不仅在大小上有变化，而且和相对于身体尺寸的异速生长有关。把“静态代谢”选作标准，把不同的物种分别归属到不同的“代谢类型”和“生长类型”的根据是什么呢？答案是：在所有可行的新陈代谢测定中——其中没有一种是理想的——静态代谢似乎最接近生长过程中大多数时候存在的自然状态。B.M.R. 的标准状态(即热力学中性的环境、绝食和肌肉不

活动），使得数据取决于实验室人工制品，因为至少主要条件是不合乎自然的，但是B.M.R.数据因表示了最小的耗散而非常有用。在冷血动物中，B.M.R.不能作为标准，因为并不存在热力学中性的状态，而且绝食状态也不能严格满足。另一方面，运动代谢却随肌肉的运动量而变化（图7.4），而生长中的动物并不总是处在激烈的肌肉运动状态。因此，相对来说静止代谢是自然状态的最好近似，选择这一参数将会引向一个非常有用的理论。

（3）从以上讨论中，对模型最重要的批评也就明显了。据说，似乎存在着所谓代谢类型和生长类型，以及两者的相关性。然而，前面也已经强调，采用的参数，特别是用指数 a 表示的代谢率和身体尺寸的关系，可能会随实验条件而变动和转变（图7.4—7.7）。同样，生长曲线也不是固定的。对老鼠的实验表明，生长曲线的形状包括拐点和位置都能通过不同的营养条件来改变（楚克尔L.Zucker等人，1941年a，1941年b，1942年；T.F.楚克尔等人，1941年；邓恩Dunn等人，1947年；迈耶Mayer，1948年），任何特性都不是僵硬的——附带提一句，就我的生物学观念而言，我是最不愿意在生理学过程的动态秩序中假定僵硬的东西了。根据我的全部生物学观点，我倒更愿意接受古老的赫拉克利特观点，只有规律和变化秩序才是永恒的。

然而，只要我们忠实于这一理论的实质，这些明显的矛盾就能很好地克服。真正不变的是用某种关系表示的过程组织性。这就是理论所说明的和许多实验所表明的东西，也就是说，在特定的代谢参数和生长参数间存在着函数关系。这并不意味着这些参数本身是不可变的——而且实验也证明它们是可变的。因此，不失一般性，我们可以把“代谢类型”和“生长类型”理解为在一定状态下可观察的理想状态，而不是理解成僵硬的物种特性。如果满足某种标准条件的话”：“代谢类型”和“生长类型”会在各个动物群中表现出来。然而，下述的说法显然是不正确的：“代谢率的降低是一个基本

量，并不随外界条件而变化”。（莱曼，1956 年）在天然条件下或实验条件下，这些关系都可能发生变化，生长曲线也要发生相应的变化。有迹象表明，这正是实际情况；这是更深入研究中一个毫不含糊的问题。

季节变化就是一种情况。伯格（Berg，1959，1961 年）在全面验证以前数据的同时，发现了蜗牛的身体尺寸与新陈代谢的关系随季节而变化：“因此，氧消耗和身体尺寸的关系并非如贝塔朗菲所设想的那样，是所有物种都具有的确实不变的定量特征……如果（贝塔朗菲的理论）是正确的话，那么观察到的代谢类型的季节性变化也就意味着生长率类型的季节性变化。”

事实上，这一现象恰恰很早就在我们的实验室中发现了（贝塔朗菲和米勒，1943 年）。蜗牛代谢率的季节性变化早已述及（图 7.11 *a*）。但是相应地，生长曲线（在这种情况下就是幂指数曲线，因为蜗牛属于“类型 I ”）也出现断点和周期（图 7.11b）。因此，这当然是值得进行深入研究的课题；然而，取得的数据应当为验证理论而不是为拒绝理论提供线索。

如果说这个初步的粗糙的模型会提供了一个终极理论，我会感到十分吃惊，的确可疑。这种事情决不会发生。这已为科学史上的许多事例所证明。孟德尔定律是基因学的开端，但就交接、互换、位置效应和其它一些现象来说，经典定律所描述的只是遗传学经验事实中微不足道的部分。伽利略的定律是物理学的开端，但是只有高度理想化情况——如物体在真空中下落；才真正遵守这个简单的定律。从玻尔的简单的氢原子模型到今天的原子物理，这是一段漫长的路程，如此等等。简直难以想象，一个拟用的生长模型与上述情况会有什么不同。对于这一模型我们顶多只能说有相当数量的实验佐证，被证明具有解释和预见的能力，还为深入研究提出了明确的问题。

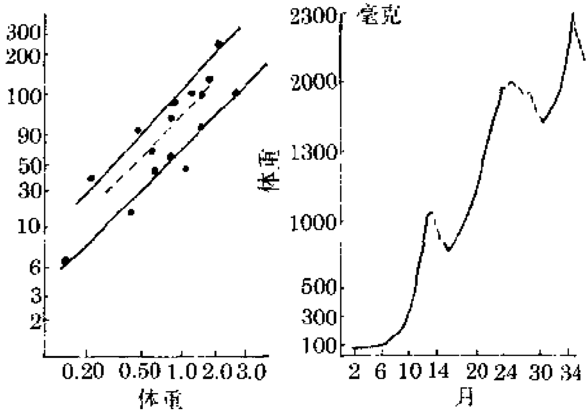


图 7.11 陆生蜗牛的新陈代谢和生长

a：新陈代谢速率的季节性变化。回归线从下至上表示了文多奔蜗牛刚经过冬眠后不积极且温度为 20℃，同样条件下 28℃及积极时期且 20℃（体重单位为克）。在其它条件相同的情况下，积极季节的静态代谢比不积极季节的高出许多。

b：相关物种（灌丛蜗牛）的生长。生长曲线是指数型的（类型 Ⅰ，$a\approx1$），但表现出了季节性涨落。（根据贝塔朗菲和米勒，1943 年）

显然，由于合用的数据有限，对于生长的观察和计算又需要花费大量的时间，这一理论只是在有限的几个实例上发展起来的。这一点赫明森（Hemmingsen，1960 年）说得很清楚：“从实际例子一再表明 n 的变化来看，贝塔朗菲把每种动物都说成（至少最初说成）有统一的生长类型，这个一般化结论似乎难以接受，除非能通过比现在贝塔朗菲反复发表的极少几个例子更多的事例在统计上向我们声明，在 n 和生长模型之间存在着令人满意的重大联系。”我完全同意这一批评；确实需要更多的数据，虽然人们也不应该对证明这一理论的那些数据不屑一顾，即使它们已是 20 多年前的数

据了。我想将赫明森的批评修正一下，建议在更大范围内进行一项重新检验。这至少应包括以下几项：分析大量的生长数据，现在电子计算机已使这成为可能的了；在这些事例中相容地确定静态代谢对身体尺寸的依赖关系(常数 a)；确定蛋白质分解代谢(常数 k)；确定有关物种的代谢率的异速生长指数同理论指出的合成代谢常数比值(η)。这些都是有趣的、然而被人忽视了的课题；而且，如果模型不能把它们引向前述几项，那也就说明这种条件模型没有什么价值。

这样的研究工作可能导致对模型的进一步证明；导致修正模型，通过考虑附加因素使它更加精致；或者，也许会导致全盘抛弃这一模型而代之以更好的模型。如果后者发生了，我也决不会失望。这也正是模型的目的——为深入研究提供工作假说。

在关于模型的讨论中，我试图阐明定量数据处理的一般方法。我想同时说明这些模型的用处和局限。每个模型都应根据它在提供解释和预言方面的作用来评价。全面否定于事无补，而一个模型是否适当，只取决于实验和观察中的事实。另一方面，任何模型都不应被认为是终极的，它至多是需要进一步研究和修正的一个近似模型。在实验与概念化间密切的相互作用中，而不是在仅仅局限于实验或者局限于构造纯思辨的模型中，存在着数量代谢生物学进一步发展的广阔前景。

提　要

1. 从实验应用方面，评述了贝塔朗菲意义下的开放系统、反馈、异速生长和生长理论。

2. 开放系统模型和反馈模型适用于生理学中非常广泛的一类现象，体现了物理学理论的重大发展。应该清楚地区分这两个概念；反馈模型(自动动态平衡)不应被认为包括了全部生理调节现象，或等同于“系统论”。

3. 异速生长方程表示了新陈代谢过程和身体尺寸间可能存在的最简单关系。它具有广泛的适用性，揭示了生命系统内过程的协调性。然而，不存在什么“表面积”或“3/4 次方定律”或“代谢率的渐减定律”。在生理学现象中，异速生长关系的差异是非常大的。

4. 身体尺寸和代谢率间的关系(*a*)在不同的组织和不同物种中，(*b*)由于生理条件的改变，(*c*)由于不同的实验设计会发生某些变化。改变这种关系的那些条件中包括以下这些因素，如生理活动、性、季节、适应作用，等等。

5. 在基础状态下，处在非热力学中性的环境或在肌肉活动的状态下，哺乳动物的全代谢对身体尺寸的依赖关系是不同的。这种变化遵从洛克规则，随着代谢率的绝对增长(用异速生长方程的常数 b 表示)，相对于身体尺寸的衰减(用异速生长直线的斜率 a 表示)趋向于缩小。

6. 贝塔朗菲的生长方程是一个高度简化的模型，然而，它概括了代谢生理学和生长中出现的许多现象和规律。这些方程中出现的参数已经在许多生理学实验中得到验证。

7. 就(5)中提及的身体尺寸——新陈代谢关系的变化来说，贝塔朗菲的所谓代谢类型和生长类型应被理解为在某些标准状态下才可能出现的理想情况，而不是所研究的物种或种群的不变特性。

8. 代谢率和生长率的季节性变化间似乎存在某种联系。

9. 指出了对各种基本模型进行进一步研究的紧迫课题。

第八章　人类科学中的系统概念

机体论革命

康德在《实践理性批判》中有一段名言，他说有两样东西使他满怀不可名状的敬畏感——头上的星空和心中的道德准则。康德的时代正是德意志古典主义的高峰。1800 年前后，短短的几十年内，德意志大诗人、大作家、大哲学家群集。而康德哲学正是伽利略和牛顿以来物理科学发展的最高综合。

仔细想想康德的言论，我们会感到奇怪。在他能够发现的可敬畏的事物中，他真应该把第三样东西包括进去。康德没有提到生命——生命有机体的奇迹般的组织和领悟物质大世界的精神小世界，两方面都没有提到。

康德的失误是不难理解的。那时，物理学几乎已达到了一个顶点，而康德本人，就曾在太阳系的起源的著作中对物理学作出贡献；同时在希腊和犹太——基督教的传统中，道德准则有着悠久的历史。与此相比，生物科学和心理科学的发展才刚刚起步。

在康德写下他的著作以后的 180 年左右，工业革命到来了，晚近还有原子能革命、自动化革命和征服太空。但这里似乎有一个破绽。惊人的技术发展和富裕的社会，至少在这个世界的某些部分已经出现，却给我们带来忧虑和空虚。物理学以及所有令人惊讶的现代前景，并不像康德所相信的那样有着水晶般纯洁的结构。康德的道德绝对命令即使没有被侵蚀掉，对一个复杂的世界来说也显得太简单了。姑且不论物理学上的湮没的威胁，也存在这样的感觉：我们的世界幻想和价值系统随着虚无主义的出现而被打破了，正

如尼采在本世纪初所预言的那样。

从历史的眼光来看，我们的技术甚至我们的社会都是以物理主义的世界图景为基础的，康德的著作对这个图景作了早期综合。物理学仍然是科学的范式、我们的社会观念和人类表象的基础。

但是，在这个时候，新的科学诞生了——生命科学、行为科学和社会科学。它们都要求在现代世界观里取得一席之地并且有可能对重定根本方向作出贡献。虽然比起当代的技术革命宣扬得少些，但同样有可能孕育着一场以生物科学和行为科学的现代发展为基础的革命。不妨简称为机体论革命。它的核心是系统的观念——表面上苍白、抽象的空洞概念，然而却充满着深远的含义，发酵般的、爆发性的潜力。

这个观念的含义可以简要地概括如下。在 19 世纪和 20 世纪上叶，世界被设想为无序的。无序就是常被引证的原子盲目作用，根据机械论和实证主义的哲学，这种作用似乎是最高实在，而生命不过是物理过程的偶然的产物，大脑只是附带的现象。流行的进化理论认为，正由于无序，生命世界是机遇的产物，是随机变异的结果，是自然选择的精选机里的幸存者。基于同样的认识，在行为主义理论以及精神分析理论中，人类的人格被看作自然界和环境的随机产物、基因混合的随机产物和从幼时到成熟时偶然事件的序列。

现在我们正在寻求关于世界的另一个基本观点——世界是组织。这种观念——如果能被证实——实际上将改变科学思想所依存的基本范畴，并且深深地影响到实践的势态。

这个趋势以一群新学科的出现为标志：如控制论、信息论、一般系统论、对策论、决策论、排队论等等；在实际应用方面有系统分析、系统工程、运筹学等。它们在基本假定、数学方法和目标上不完全一致，常常不能令人满意，有时甚至产生矛盾。但是，它们都以不同的方式涉及“系统”、“整体”或“组织”，因此，从总体上看，它们宣

告了一种新方法的产生。

当代思潮中人的表象

这些进展能够对人类科学产生什么影响?众所周知,当代心理学的状况是不能令人满意的。它看来像相互矛盾的各种理论的大杂烩,包括从行为主义到存在主义,前者看不出人类行为和实验室的老鼠之间有任何区别(而且,更严重的是,工程师根据老鼠的行为模型来设计人类行为的模式),后者则使人们无法对人类情况作科学的理解。如果没有某一个事实来捣乱,这些形形色色的概念和方法倒是十分健全的。所有这些理论都有一个共同的“人的表象”,它起源于物理——技术领域;它被在其它方面相互对抗的理论诸如行为主义、认识过程和认识行为的计算机模型、精神分析以及存在主义认为是理所当然的;而它确实是错误的。这就是人类行为的机器人模型。

当然,由经验事实看来,机器人模型在理论上是不适当的,从它在“行为工程”中的应用来看,它在实践上是危险的;在这个见解的推动下,确实有大量涌向新概念的趋势。然而,尽管机器人概念时时受到公开的或隐蔽的攻击,它仍然在心理学研究中,在理论和工程两方面,占有统治地位。因此,即使在今天也是值得一顾的。

一个主导概念是刺激—反应图式,或简称为S—R图式。动物和人的行为,都被看作对外界刺激的反应。刺激—反应,部分地是以遗传的神经机制为基础的,如反射和本能行为。就人的行为来说,更重要的是习得反应或条件反应。这可以是巴甫洛夫的经典的条件反射,通过重复一系列有条件的和无条件的刺激而来的反应。这也可以是斯金纳的加强成功反应的操作性条件反射。这又可以是弗洛伊德的儿童早期经验,从便溺规矩训练及其他步骤开始,借以加强社会可接受的行为,而不让心理病理学上的情结形成。这种

图式支配着心理工程。根据斯金纳原理构想的教学机器能够极好地进行学校教育。以精神分析为背景的条件反射使自由企业的车轮飞滚。通过广告、动机研究、广播和电视等方式使人类机器产生条件反射并按程序活动,从而使人们买他们要买的东西:用耀眼的色彩装璜的洗衣粉,用女性子宫作牌子的巨型电冰箱,或控制最有力政党机器的候选人。

关键在于学习理论派认为他们从动物实验中发现的规则应当适用于人类的全部行为。例如,斯金纳认为,儿童的"语言行为"同斯金纳的老鼠和鸽子一样从操作条件反射中习得;当老鼠和鸽子正确反应时,奖励一丁点儿食物,使它学会小小的窍门。如一则幽默的批评(乔姆斯基 Chomsky,1959 年)所指出:推测起来,父母教孩子走路和说话,用奖励的办法来加强他们所教导的行为,大概是为了孩子以后能够靠送报纸或叫父母听电话来挣几个钱。再复杂一些的说法也改变不了这个图式的本质。

第二条原理是环境论原理。它宣称,根据 S—K 图式,行为和人格都是由外界影响所塑造的。瓦斯托(Wastor)有一段名言:给我一群孩子,不管他们的来历如何,只要依靠条件反射的力量,我就能把它们造就为医生、律师、商人、乞丐或强盗。根据同样的原理,精神分析学派认为人格形成于儿童的早期经验,特别是性机能的经验。更普遍的表达是:人类是一部可以任意规定程序的计算机。实践上的结论是:人类生来不仅在权利上是平等的,而且在能力上也是平等的。因此,我们仅仅从病理学方面去关心心理变态、精神病患和公开犯罪,往往不利于恢复这些人的健康、正常心理状态和优良品质。其实,可以通过再建合适的条件反射的办法,使这些迷途的绵羊回到羊群中来。也因此,崇奉金钱能够买到一切的信条:当俄国人在太空飞行器上领先时,几十亿美元花到教育上去,以期产生成批的为弥补这个差距所需要的小爱因斯坦。

第三条是平衡原理。用弗洛伊德的话来说,这就是"稳定性原

理”:心理器官的基本功能就是维持自动动态平衡。行为基本上是紧张的减弱,特别是性机能紧张的减弱。因此,让人们通过社交或别的紧张减弱的方法去释放他们的紧张吧,一个正常的令人满意的人类就会出现。

第四,行为受经济原则支配。行为是功利主义的,应该采用最经济的方式,即花费最少的精神和活力去完成。实际上,经济原则就是最低要求公设:例如,把学校教育的要求减低到培养行政官员、电子工程师和管子工所需的最低限度,——否则就是扭曲人格、制造紧张以及造成不愉快的人类。

目前心理学的危机(其实,已延续了30多年)可以概括为:迄今,特别在美国,统治着心理学的人的机器人模型在慢慢地侵蚀。

有两个要点值得再强调一下。第一,人的机器人模型涉及心理学和心理病理学的所有领域,涉及在其他方面有区别的甚至对抗的各种理论和体系。这些理论有:行为的S-R理论,被叫作:“白板知觉论”的认识理论,即有机体是刺激的被动接受者;巴甫洛夫和斯金纳的学习理论以及它们之间的变型;种种人格理论;行为主义,精神分析,神经生理学和心理学中的控制论概念,等等。此外,“人是机器人”是机械化和商业化社会时代精神的表现和动力;它使心理学成为金钱和政治利益的奴婢。操作心理学的目标是使人类愈来愈成为机器人或自动机;机械化学习、广告技术、大众传播媒介、动机研究和洗脑筋就是要设计这样的人。

然而,这些基本设想是谬误的。这就是说,条件反射和学习理论虽然正确地描述了人类行为的一个重要部分或重要方面,但是作为包医百病的理论,它们显然是错误的,而且在应用中自拆其台。把人想象为机器人,是形而上学的,或者说是神话,它的诱惑力只是由于这样的事实:它与大众社会的神话,机器的崇拜以及利润是进步的唯一动力等密切相关。

设有偏见的观察很容易发现这些基本假定是谬误的。S-R图

式摈弃了诸如游戏，探索行为以及各种形式的创造活动等可称之为自发活动的一大部分人类行为。一个基本事实驳斥了环境论：甚至果蝇或巴浦洛夫的狗也是各不相同的，这是任何一个遗传学或行为学的学生都应该知道的。从生物上说，生命不是平衡的维持或恢复；有机体是开放系统的学说告诉我们，生命本质上是不平衡的维持。如果达到平衡，就意味着死亡并随之腐败。从心理学上说，行为不仅仅趋向紧张的释放，而且还增强紧张；如果增强紧张的过程停止了，病人就是一具腐败着的精神尸体，就像生命有机体丧失了使其免于平衡的张力就变成腐败的肉体一样。青少年犯罪分子为了开玩笑而犯罪，这是由于太多的闲暇而产生的新的心理病态，在医院的精神病例中占 50%——这一切都证明，适应、调整、遵从、心理和社会平衡等方案都失灵了。行为包括很广泛的范围(进化可能也如此)，不能归结为个体适应和物种幸存等功利主义的原理。希腊的雕塑、文艺复兴时期的绘画、德国的音乐(实际上，文化的任何一方面)都与功利或个人与民族的生存没有什么关系。从功利主义来说，巴比特(Babbit)先生的情况无论在哪方面都比贝多芬和米开朗琪罗要好*。

心理学，精神病学和心身医学常常乞灵于压力原理。对于这个原理，也需要重新作一番评价。同世界上各种事物一样，压力也有两面性。压力不仅是对生命的一种要用适当的机制去加以控制和消除的威胁，而且也制造更高级的生命。如果生命在受到外界的扰动之后，只是简单地回到所谓自动动态平衡上去，那么它就永远也不会超出变形虫而向前进化，变形虫毕竟是世界上最适应的动物，从原始海洋到今天已生存了几十亿年。米开朗琪罗，按心理学所提供的办法来做，应该遵从他父亲的要求去做羊毛生意，尽管西斯廷

---

* 巴比特先生是美国小说家辛克莱·刘易士所著小说中的主人公，当代美国资产阶级实业家的典型。米开朗琪罗，意大利文艺复兴时期的雕塑家、画家。——译注

教堂未加以修饰，都省去了终身的烦恼。

雪莱写道："健康和快乐的秘密在于适应千变万化的世界；在这个伟大的适应过程中对失败的惩罚则是疾病和痛苦。"他要求人们善于处世，这在一定意义上是正确的。但是，就字面来说，他否定了创造性活动和文化，而正是这些东西使人和丛林中的野兽大不相同。从适应的观点来看，创造是失败，是疾病，是痛苦。维也纳文化历史学家费里德尔(Egon Friendell)曾对此作过精辟的分析。(1927—1931 年)任何一个给世间带来杰出思想的人都不会遵循最大限度的调整、平衡和自动动态平衡，雪莱本人也肯定为追求杰出思想而付出代价。

生命不是安居于预先规定的生物套套中；在有利的情况下，它 elan vital(生气蓬勃地)，不屈不挠地向更高级的存在形式挺进。这当然是一个形而上学的、诗意般的比喻，但是，我们力图用万物的驱力来塑造的任一形象不就是这样的吗？

系统——理论上重新定向

在这个方向上，看来会出现人的新模型或新表象。我们可以简要地把它表征为：人的模型是主动人格系统。这看来是许多不同流派的共同特点，这些流派有：由皮亚杰和威纳开创的发展心理学，形形色色的新弗洛伊德学派，自我心理学，知觉"新论"，近代认识理论，奥波特(G. Allport)和马斯诺等人的人格理论，教育新法，存在心理学，等等。

这意味着心理学的一个历史转折。以前，心理学的一般趋向是把心理事件和行为归结为一大堆感觉、驱力、先天和后天反应，或理论上随意推测的最高要素。与此相反，系统概念力图从整体上把心理生理学有机体作为科学探求的中心。

因此，新的"人的模型"是必需的，而且事实上在人本主义心理

学和机体心理学的新趋势中缓缓地浮现。强调人类的创造方面，强调个人差别的重要性，强调非功利主义的方面和超出生物性的存在和生存价值方面，——如此等等都是主动有机体模型所包含的意思。这些观念是目前正在进行的心理学重新定向的基础。因此，日益引起人们注意的一般系统论正与心理学特别是精神病学交会。

在S-R图式表述的反应机体模型中，行为被看作需要的满足，紧张的缓解，自动动态平衡的再建，以及对它所作的功利主义的和环境论的解释，等等。与此相反，我们把心物有机体看成本始主动系统。我认为不能再把人类活动看作别的东西了。拿我来说，我就不明白怎么能把多种多样的创造活动和文化活动都看作"对刺激的反应"、"生物性需要的满足"和"自动动态平衡的再建"呢？当一个商人不顾他的胃溃疡正在发作，不息地进行商业活动的时候，或者当人类为了满足"生物性需要"继续去发明超级炸弹的时候，看上去就不那么"体内平衡"了吧。

这个概念不仅适用于行为方面，也适用于认识方面。可以有把握地说，现代心理学和精神病学的一般趋势是在生物学洞察力的支持下去弄清认识过程中的主动部分。人不是外部世界刺激的被动接受者，而是在非常具体的意义上创造他的天地。而且，这可以用许多方式来表述：弗洛伊德关于儿童时期树立的"世界"的重建；皮亚杰、威纳或沙赫特尔(Schachtel)的发展心理学；强调态度、情感和动机因素的"知觉新论"；根据奥休贝尔(Ausubel)"有意义学习"分析的认识心理学；尤克斯屈尔(von Uexküll)关于动物物种专有的umwelt(境界)；哲学上和语言学上，有卡西尔(Cassier)的"符号形式"和依赖于文化的范畴；洪堡(Humboldt)和霍弗(Whorf)关于经验世界形成中的语言(即符号和文化)因素的迹象。"我们体验的世界是知觉的产物，而不是知觉的原因"。(森特里尔 Centril，1962年)

上面所列举的很不完全，只是说明不同的方法提供不同方面或不同侧面的线索，可供我们最后综合。但是，在一般概念上有同感。实际上，如果有机体是一架照相机而认识是对外部世界的一种摄影活动，那么就很难理解认识过程为什么采取迂回曲折的路线，如阿里蒂(Arieti,1965 年)令人信服地描写过的要经由幻想的、神话的、术士的思想体系，只是在最后才迟迟地到达美国和西方正常科学中的想必是"客观的"世界观。

这样一种新的"人的表象"，即从系统概念代替机器人概念，强调内在活动而不是外导反应，而且认清人类文化特性与动物行为的区别，将导致从根本上重新评价教育、训练、心理疗法以及一般的人类态势问题。

社会科学中的系统

最后，我们应探索系统概念应用的最广泛前景，即作为整体的人类团体、社会和人性。

为了便于讨论，我们从广义上来理解社会科学，它包括社会学、经济学、政治学、社会心理学、文化人类学、语言学、历史学的一大部分和人文学科等。我们把科学理解为一般规律的探求，即不是描写单个事物而是整理事实和详细描述一般性。

预先规定了这些定义，我认为可以十分有信心地说：社会科学是社会系统的科学。因此，它应该使用一般系统科学的方法。

这是个显得近乎繁琐的陈述，而且按照这个程式，也很难否定当代社会学的理论(索洛金 1928,1966 年)以至它们的发展历史。可是，社会系统的专门研究与两个广泛流行的观念不同：第一，忽视"关系"研究的原子论观念；第二，忽视所涉及系统的特性的观念，如常有还原论企图的"社会物理学"。这需要作些评论。

有机体系统的研究范围是广泛的。它构成生物学的一个重要

部分，对动植物的群落和社会以及它们为生存而进行的生长、竞争和斗争等等的研究（包括生态学和遗传学的两方面）。人类社会的某些方面有它自己的类似考虑。不仅是如人口增长之类的明显方面，也包括军备竞赛和战争之类的冲突，理查森等人认为，可以用类似于生态学中所使用的微分方程来描述这些方面，虽然过于简化，但提供了大量的解释甚至预测。谣言的流传可以用广义的扩散方程来描述；汽车交通流可以用与动力学和热力学形式相同的考虑来分析。这些事例就是一般系统理论典型而又直接的应用，可是这只是问题的一部分。

社会学及其相关的领域本质上是对人类团体及人类系统的研究，从像家庭或工作班组这样的小团体，到无数中等的正式的和非正式的组织，到像国家、势力范围、国际关系这样的大型联合体。提供理论表述的种种尝试都可以用系统的概念或这个领域的同义词来进行阐述。最后，人类历史的问题也隐隐呈现出运用系统思想的最广泛的可能性。

社会学正愈来愈多地采用现代系统方法所提供的概念和理论，如一般系统、反馈、信息、通信等概念。

当今社会学理论的主要内容是试图定义社会文化“系统”和讨论功能主义，即着眼于“整体”来考虑社会现象的作用。从第一个方面说，索洛金关于社会文化系统的因果—逻辑—有意义的特征（本书作者不严格地转述为生物、符号和价值等层次），看来极好地表示了复杂地相互连结在一起的各个方面。

功能主义的理论有多种表达方式，正如泊松（Parson）、麦顿（Merton）及许多人所描述的。最近迪米拉思和彼得逊（Peterson）所著的书对各种流派作了精彩的分析。对功能主义的主要批评，尤其是泊松的看法，是功能主义过分强调维持、平衡、调整、自动动态平衡、稳定的制度结构等等，结果冲淡了历史、过程、社会文化变化内异发展等，而至多表现为带有负值涵义的“异常”。这个理论显得

是一个保守主义的和盲从主义的理论，保卫现存“系统”（或用芒福特 Mumford 的话说，当今社会的庞大机器），从概念上忽视了并遮盖了社会的变化。显然，本书提出的一般系统理论避免了这个缺陷，因为它同等地结合了维持和变化、系统维护和内部冲突；因此它可能因此而易于作为改进社会学理论的逻辑骨架。

在系统分析和系统工程方面，系统理论实际应用于解决商业、政府和国际政治所提出的问题，证明了方法“可行”并能用于理解和预测两个方面。尤其表明，系统方法并不限于处理物理学、生物学和其它自然科学的物质实体，而且也可用于部分地非物质的而且高度不匀质的实体。例如，商业企业的系统分析包括人、机器、建筑物、原材料输入、产品的输出、货币价值、信誉以及其它无法衡量的事物。它可以给出一定的答案和实际建议。

困难不仅在于现象的复杂性方面，而且还在于所研究的实体的定义方面。

至少，部分的困难可用这样一个事实来说明：社会科学所涉及的是“社会—文化”系统。人类团体，从最小的个人交谊和家庭到最大的国家和文明，不只是在低于人类的有机体中都可见到的社会“力”（至少在原始形式上）的产物，而且是叫作文化的人造世界的一部分。

自然科学必须同时间和空间中的物质实体打交道：粒子、原子和分子，各个层次的生命系统，视具体情况而定。社会科学则必须同人类自己创造的文化世界中的人类打交道。文化世界本质上是符号世界。动物被一个它们不得不对付的物质世界包围着：自然环境，捕食其它动物，避免被其他动物所捕食，如此等等。与此相反，人是被符号世界包围着。从文化的先决条件语言开始，到同伴间的符号关系：社会状况、法律、科学、艺术、道德、宗教和无数的其他事物；人的行为除了食欲、性欲等基本的生物性需要外，受着符号实体的支配。

我们也可以说，人有着超越生物的、超越物质世界范围的价值。这些文化价值从生物学角度看可能是不相干的甚至是有害的。例如，看不出音乐对于“适者生存”有什么价值；当国家和政府发动战争而杀人不计其数，从生物学的角度看，它们的价值就变得其坏无比了。

系统论的历史观

与生物物种以遗传变异方式进行演出相比，只有人类表现出历史现象。这是与文化、语言和传统密切相关的。自然界的缰绳是由科学中逐渐揭示的规律操纵的。历史有规律吗？鉴于事实上规律是概念化的模型或理论中的关系，前面的问题等同于另一个问题：除了对事件的描述外，还可能有一种理论历史学吗？如果这当真是可能的，一定是把系统作为合适的研究单元，——研究人类团体、社会、文明或其它适当的对象。

在历史学家中广为流行的定论却并非如此。科学本质上是一种一般规律研究法(nomothetic)。它以自然界中可重复的和可再发生的事件作为事实基础来建立定律。与此相反，历史并不重复自身。它只发生一次。因此，历史学只能是特殊规律研究法，(idiographic)即对发生在或近或远的过去的事件的描述。

与历史学家这种正统的见解相反，持对立观点的异教徒，以这种或那种方式，试图建立理论历史学和可应用于历史过程的定律。这个流派始于18世纪早期的意大利哲学家威科，在哲学体系内继续研究的有黑格尔、马克思、施本格勒、汤因比、索洛金、克雷勃(Kreber)等人。这些体系间有巨大的、明显的差别。但是他们都一致认为：历史的过程并非完全偶然的，而是遵循可以确定的规则或定律的。

我们已经说过，科学方法无疑可用于人类社会的一定方面。统

计学就是这样一个领域。我们能够而且确实用公式来表示社会实体的许多统计规律，至少是规则。人口统计、死亡统计——没有它们保险公司就会破产、盖洛普民意测验，选举行为预测或产品销售预测表明，统计方法对社会现象一个相当广泛的范围都是适用的。

此外，在许多领域中假设推理系统的概率方法被广泛地接受了。数理经济学或计量经济学就是这样一个领域。经济系统的正确性可能还有争论，但这样的系统的确是存在的，并且如同其它科学里的系统一样，我们希望能加以改善。数理经济也是不考虑物质实体的一般系统理论的一例。多变量问题、经济中的各种模型和数学方法提供了一个极好的建立模型的例子和一般系统的方法。

即使对那些难以理解的实质，如人的价值，科学的理论也正在形成。事实上，信息论、对策论和决策论提供了处理人类和社会行为等方面的模型，那里经典科学的数学是不适用的。拉波波特的著作《战斗，对策，争论》(1960 年)和博尔丁的《冲突与防护》(1962 年)对军备竞赛、战争和战争对策、经济和其它领域内的竞争等现象做了详细分析。用了比较新颖的处理方法。

耐人寻味的是这些方法涉及人类行为中那些曾被认为科学之外的方面：价值、合理决策、信息等。这些方法不是物理主义的或还原论的。它们并不用物理定理或自然科学中传统的数学。更确切的数学新进展正在显露，打算处理物理世界中没有遇到过的现象。

另外，确有存在着关于文化的某一非物质方面的无可争议的定律。例如语言就不是一个物质对象，而是我们称为人类文化这个无形对象的产物或一个方面。然而，语言学谈到了可以描述、解释和预测所观察现象的定律。格里姆(Grimm)关于德国语言史上辅音转变的规律就是一个简单例子。

文化事件的合乎规律性，以多少有点模糊的方式，被广泛地接受了。例如，从遥远的地方和时代的艺术演化中可以看到，艺术历经许多阶段：古风、成熟、怪诞和消亡；这似乎是十分普遍的现象。

因此，统计规则和定律可以在社会现象中发现，某一特定方面可以由现代的方法、模型和技术来处理，它们是有别于自然科学中的那些方法的。而我们有着一些关于社会系统固有的具体规律和组织规律的思想。这是绝无争议的。

争端发生在"理论历史学"。这需要非凡的想象力或历史的构想力，仅举几个杰出的例子，如威科、黑格尔、马克思、施本格勒、汤因比那样。"微观历史学"即有限的空间、时间间隔和人类活动领域中的规律性，当然是模糊的、缺乏探索的、而且远远不足以作精确的陈述，但它们的存在却没有争论。发现"宏观历史学"中的规律性的企图却遭到了正规的历史学毫不含糊的抵制。

汤因比在他的《研究》的最后一卷中多少有点迟缓地认识到，"大系统"拿掉浪漫主义和形而上学的说教，就可以作历史过程的模型。试图用形式简化因而可理解的模型去描述实在的某一方面，是任何理论尝试的基础；无论在力学中运用牛顿模型，在原子物理学中运用微粒或波动模型，还是用简化模型描述人口增长或用对策模型描述政治决策，都是这样。模型的好处和危险是众所周知的。模型的好处在于它是创立理论的一种方式——即容许从前提、推导、解释和预见，而常常得到意想不到的结果。其危险在于过分简化。为了概念上可控制，我们不得不把实在简化为概念骨架——问题在于我们这样做是否像解剖那样砍掉了活力部分。越是现象种类繁多复杂，简化的危险就越大。这不仅适用于文化和历史中的"大理论"，而且也适用于我们能从心理学或社会学的杂志中找到的模型。

显然，"大理论"是非常不完善的模型。事实的错误、解释的错误和结论的谬误已由大量的批评文献揭示，这里毋须赘述。尽管这些批评是理所当然的，但大量观察材料还是保留下来了。

"理论历史学"的各种体系证明了一件事，即历史过程的性质。历史不是乱七八糟的人类过程，也不是作为动物物种的智人(Ho-

mo sapiens)的过程。确切地说，它是由所谓高文化或文明的实体或大系统所承担的。这些文明的数量是不定的，分界是模糊的，相互作用是复杂的。但无论施本格勒划分的八类伟大文明，汤因比大约有 20 种，索洛金用了其他范畴，最近的研究还揭示了许多丢失的文化，总归是这样一个事实：有限数量的文化实体承担了历史过程，每一个呈现出一种生命周期，实际上一些较小的社会——文化系统如商业、艺术学派甚至科学理论的确是这样表现的。这种过程并不像施本格勒所坚持的、注定有千年的寿命（甚至单个生物体也没有固定的寿命，而可能或早或晚地死去）；也不是以明显的隔离方式运行的。文化扩散的程度引人注目，考古学家发现了史前的琥珀之路或丝绸之路，年代始于耶稣诞生或更早一些。他们在庞贝发现一座印度拉克什米(Lakshmi)小塑像，在印度海岸发现罗马贸易站。施本格勒甚至汤因比做梦也没想到的文化扩展以及新的问题，近年来变得显而易见了。高棉(Khmer)文化、伊特拉斯坝(Etruscans)文化和前罗马凯尔特(Pre-Roman Celts)文化在体系结构上无疑有它们应有的地位。但是，什么是扩展出地中海边界、大西洋和波罗的海边界的巨石器时代文化呢？什么是产生于公元前 500 年有着普拉多(Prado)的《埃内克太太》(Lady of Elche)这样惊人著作的伊比利亚(Iberian)文化呢？不过，像埃及文化、希腊—罗马文化、浮士德文化、巫术文化、印度文化（或随便那一种我们更喜欢的名称），即使同化了和吸收了其他文化的特性并与同时代以及过去的文化系统相互联系，每个文化也都有其独特的"风格"（即符号系统单元和整体）。

此外，历史的兴衰（不是精确的周期或循环，而是涨落）是有公开记录的。正如克雷勃(1957 年)和索洛金(1950 年)所强调的，历史抽掉了错误和哲学家的特殊气质，留下的有大量的一致的地方；这包括熟知的历史事实。换句话说，历史理论家之间的分歧以及历史理论家与正统历史学家的分歧，并不在于所解释的材料问题，而

在于所使用的模型问题。从科学的历史来看，人们毕竟寄希望于模型；在科学"革命"期间，科学思维的新"范式"（库恩，1962年）常常是在各种理论或模型的全面竞争中出现并被采用的。

在这样的争论中，语义学的影响完全不能低估。文化这个概念的含义本身就是一个有争议的问题。克雷勃和克拉克洪（Kluckhohn，1952年）收集和讨论了大约160种定义面没有得出一个确定的定义。特别是，人类学家与历史学家的见解不一样。例如，鲁思·贝内迪克特（Ruth Benedict）认为，新墨西哥、不列颠、哥伦比亚和澳大利亚土著的文化模式基本上是永恒的；这些模式从没有文字记载的年代起就一直存在，即使它们在过去经历过微小的变化，那也在文化人类学的范围和方化之外。相反，历史学家所关心的文化是一个时间过程：希腊—罗马文化从爱奥尼亚城邦到罗马帝国的演变，它的造形艺术从古代雕塑到希腊风格的演变，德意志音乐从巴赫到斯特劳斯的演变，科学从哥白尼到爱因斯坦的演变，如此等等。就我们所知，只有有限数目的"高级文化"有过历史并造就了历史，——即显示出时间上的重大变化，而数以百计的人类学意义上的文化，在欧洲扩张之前可以说还停留在石器时代和骨器时代的水平。在这方面，施本格勒无疑是正确的，他的文化概念是把文化看作动态的和自我演化的实体，他反对人类学家的观点，即把各个文化——无论是澳大利亚土著文化、希腊文化还是西方世界的文化——都看成一样好，都是同一条乱七八糟的人类之流的一分子，在这条河流中不时出现环境使然的急速的和停滞不前的旋涡。

顺便说一说，这种语词上的区别不仅有学术意义而且还有政治影响。在加拿大，目前正在进行"双文化主义"（或用另一种说法，两个民族，英格兰和法兰西）的斗争。我们作何解释呢？我们在人类学的意义上来理解文化，希望他们为像非洲或婆罗洲原始人之间存在的那种部落式的差别而斗争从而导致无休止的流血战争

吗？或者，我们在法国文化和德国文化那种意义上来理解文化，——即把文化看作有待证明的有创造力的现象，而认为英裔加拿大人和法裔加拿大人之间的区别也有待证明吗？显然，政治见解和政治决策也在很大程度上依赖于定义。联合国中的国家概念是以“人类学”概念为基础的（如果不是以殖民时期所留下的专断的边界为基础）；其结果是不那么令人鼓舞的。

在社会学和历史学的“机体”理中隐含着另一个语义学问题。施本格勒认为伟大文明是有生命周期（包括诞生、生长、成熟、衰老和死亡）的有机体；大量的批评似乎要证明一个明显的事实，即文化不是像动物和植物那样的有机体，不是有明确时空界线的单个实体。实际上，社会学中的机体论概念处理很得妥当，因为它是隐喻性质的。一家商行或一家制造厂是一个“系统”，因而显示出“有机体”的特征；但植物学家眼中的“plant”（植物）与工业家眼中的“plant”（工厂）的区别，明显地不成一个问题。这个争吵不大可能在法语中出现，那里很习惯于用 Organisme（有机体、机构）来称呼机构（例如邮局）、商行和同业公会；这个隐喻是易懂的，因而不存在争议。

不要去强调周期历史学派的缺点，在科学的胚胎时期出现这些缺点是很自然的，要强调许多一致的方面，这样似乎更好些。有一个一致点使问题超出了学术问题的范围。这个问题仿佛触动了一根裸露的神经，使得汤因比和施本格勒得到特别热烈的喝彩，也得到感情冲动的嘘声，这在别的学术争论中是少见的。这就是施本格勒在标题中就表达出来的论点——《西方的没落》，他宣称，尽管（或许正因为）我们的辉煌的技术成就，我们生活在一个文化衰退和逼近大变动的时代。

系统论的未来观

不断扩张的社会机构统治大众并压制个性；传统的价值系统被破坏并代之以伪宗教，——从国家主义到偶像崇拜，到占星术、精神分析和加利福尼亚教派；艺术、音乐和诗歌中创造性的衰退；大众甘愿向权力主义屈服，哪怕它是一个独裁者或者非个人的精英；数目不断减少的超级大国之间的大规模冲突；这些是我们今天经常发生的症状。“我们注意到直到那时还曾是文化创造者的那些社会阶层的心理变化。他们的创造力和创造劲头枯竭了；人们变得软弱无力并失去了创造的兴趣而且不再重视它了；他们不着迷了；他们不再为创造理想的人类福利而努力了，他们的头脑中不是充斥着物质利益就是充斥着与地球上的生活无关而要到别的什么地方去实现的理想。”这不是昨天报纸的社论，而是著名的罗马史学家罗斯托夫策夫(Rostovtzeff)对罗马帝国的衰亡的描述。

然而，有两个因素反对厄运预言家所列举的诸如此类的症状，这两个因素是过去已消亡的文化所没有的，是我们当今文化所特有的。一个因素是技术的发展，它容许人们控制自然达到前所未有的程度，它为减轻人类早已面临的饥饿、疾病、人口过度增长等开辟道路。另一个因素是我们文明的全球性质。以前的文明受地理边界的限制，只包括有限的人类群体。我们的文明包括整个星球，而且随着太空的征服还超出了这个星球。我们的技术文明不是像雅典市民、罗马帝国公民、德国和法国公民、欧洲白种公民那样比较小的人群的特权，而是向全人类开放——不论其肤色、种族和信仰。

这两个因素真是非同凡响，驳倒了历史周期论，似乎把我们的文明提到与以前的文明完全不同的水平上去了。让我们试着作一个暂时公认的综合。

我认为"西方的没落"不是一个假说也不是一个预言——而是既成事实。从欧洲国家发展起来的千年左右的辉煌文化，产生了哥特式大教堂、文艺复兴时期的艺术、莎士比亚和歌德、牛顿物理学的精确结构以及欧洲文化的所有荣耀的事物，——这个历史大周期完成了，不能用人工手段加以复兴。

我们不能不认真考虑赤裸裸的现实——一个包括全球和所有人类的、技术的、国际的、大众文明，在这个文明中，旧的文化价值和创造性被新的器械所代替。现在的强权斗争在它的爆炸性阶段可能导致全球性的原子大破坏。如果不发生这场大破坏，那么西方和东方的差别可能在各方面都变得没有什么意义了，因为物质文化的相似性终究会证明强于意识形态上的差别。

第九章　心理学和精神病学中的一般系统论

现代心理学的窘境

近年来，“系统”概念在心理学和心理病理学方面的影响日益增大。为数众多的研究谈到了一般系统论或其中某些部分(例如：F·奥波特，1955年；C·W·奥波特，1960年；安德森 Anderson，1957年；阿里蒂，1962年；布朗斯威克 Brunswik，1956年；比勒，1959年；克雷奇，1950年；伦纳德及伯恩斯坦 Lennard & Bernstein，1960年；门林格尔，1957年；门林格尔等人，1959年；米勒，1955年；庞皮恩-明德林 Pumpian-Mindlin，1959年；赛兹 Syz，1963年)。奥波特的那本名著的修订版以“人格是系统”结尾；门林格尔以一般系统论和机体生物学为基础安排精神病学的体系；拉波波特甚至谈到“开放系统心理学像传染病那样流行”(第135页)。这就出现了一个问题：为什么会有这种趋势？

二十世纪的头半个世纪，在美国心理学中占统治地位的是反应性机体的概念，更有戏剧性的是机器人模型。美国所有的心理学主要学派都有这个共同观念；古典行为主义和新行为主义，学习和动机理论，精神分析，控制论，人脑的计算机概念等等无不如此。正如一位有影响的人格理论家所说：

“人是一台计算机、一个动物，或者是一个婴儿。他的命运完全取决于基因、本能、偶然事件、早期的条件反射和强化作用、文化和社会力量。爱是在食欲和口唇感觉基础上的次起驱力，或者是对天生的潜伏的恨的反应形成。在我们人格学的大多数公式中没有创

造力的规定，没有随意决定的活动余地，不予理想力量以应有的承认，没有忘我动作的地盘，完全没有给人类留下从当前面临的厄运中解救出来的希望。如果我们的心理学家始终有意无意地想要恶狠狠地把人性的概念降低到最低劣的水准，而且幸灾乐祸地注视着我们这样做将会取得的成就，那么我们不得不承认，我们已经到了魔鬼附身的地步。"(默里 Murray，1962 年)

机器人心理学的信条受到了广泛的批评；读者要了解批评的论据，可查阅奥波特的公允的评价(1955，1957，1961 年)和马岑(Matson，1964 年)新近的史纲，他写得才华横溢，持之有故。然而，这个理论得以保持统治地位，是有明显的原因的。把人看作机器人，这个概念既是工业密集社会的一种表达方式，又是这个社会的一个强大动力。它是商业、经济、政治和其他的广告及宣传中谈得很多的行为工程的基础；"富裕社会"不断扩张的经济没有这样的操作就不能生存下去。只有操纵人类使其愈来愈变成斯金纳的老鼠*，机器人、购买东西的自动机、按自动动态平衡调整好的顺从者和机会主义者(直截了当地说，低能者和傻瓜)，这个伟大社会才能循着国民经济产值不断增加的道路前进。事实上(亨利 Henry，1963 年)，学院心理学的原理已与"人的金钱概念"的原理完全相同。

现代社会为操作心理学提供了大规模的试验场。如果它的原理是正确的，那么张力和压力条件就应导致心理失常的增加。另一方面，当诸如食物、庇护所、个人安全等等基本需要得到满足，当肉体机能得到随意的锻炼，因而避免了早期的本能的压抑，当烦琐的学业要求得以减少，娇嫩的大脑不致负担过重，当早年的性要求得

---

* 斯金纳(B. F. Skinner，1904—)，美国的行为主义者、操作主义者。他认为，用奖励和强化的方法可控制一个人的行为。他设计了"斯金纳箱"，用老鼠作试验以证明他的理论。——译注

到满足，如此等等，心理健康就应得到改善。

行为主义的试验所得出的结果与预期相反。第二次世界大战是生理上和心理上都极度紧张的时期，但除了直接震荡所导致的战斗型神经官能症外，并没有使神经病（奥普勒 Opler，1956 年）和精神失常（拉维罗 Llavero，1957 年）增加。相反，富裕社会却造成数量空前的心理病态。恰恰在张力减小、生物性需要得到满足的情况下，出现心理失常的新形式：存在性神经官能症、恶性厌烦症和退隐型神经官能症（亚历山大，Alexander，1960 年）。这些机能障碍不是来源于驱力的压抑、需要的不满足或紧张，而是来源于生活的无意义。有人猜想（阿里蒂，1959 年；贝塔朗菲，1960 年 *a*）（尽管没有统计上的根据），近年来精神分裂症的增加，可能是由于现代社会中人的"他向性"（Other-directedness）所引起的。而毋庸置疑的是，青少年犯罪出现了新类型：犯罪活动不是由于贫困或情欲，而是为了开个玩笑，"寻求刺激"，究其根源，是生活的空虚（安诺尼莫乌斯 Anonymous：《犯罪和犯罪学》，1963 年；哈克 Hacker，1955 年）。

这样，理论心理学以及实用心理学，在基本原理上出了毛病。许多学派以各种不同方式表露不安并转到新的方向上去，例如各种各样的新弗洛伊德学派、自我心理学、人格理论（默里、奥波特）、迟迟才被接受的欧洲的发展心理学和儿童心理学（皮亚杰、威纳，夏洛特比勒）、知觉"新论"、自我实现（歌德斯坦，马斯洛）、患者中心治疗法（罗格斯 Rogers）、现象和存在方法、人的社会学概念（索洛金，1963 年）以及其他学派。现在流行的形形色色理论都有一条共同的原理：不是把人看作会反应的机器人或自动机，而看作能动的人格系统。

所以，对于一般系统论普遍感兴趣，是由于它有希望为正常心理学和病理心理学更加合适的概念结构体系作出贡献。

心理病理学的系统概念

一般系统论起源于生物学中的机体概念。这是作者于20年代在欧洲大陆研究出来的(1928年a),同时在盎格罗—萨克逊国家也有开展(怀特海,伍格 Woodger,科希尔 Coghill 等人),还有心理学格式塔理论的发展(柯勒)。有趣的是,尤根·布柳勒(Eugen Bleuler 1931年)也以赞同的态度注视这个理论的早期发展。以歌德斯坦为代表,在精神病学中作了相似的开拓工作。

机体和人格 与物理上的力如引力和电力不同,生命现象只能在叫做机体的个别实体中找到。任何机体都是系统,也就是参与相互作用的部分和过程的动态秩序(贝塔朗菲,1949年a)。同样,心理现象只能在个体化的实体中找到,在人类就叫人格。"不管人格可能是别的什么东西,它总有系统的特性"(G·奥波特,1961年)。

作为系统的心理物理机体,它的"模"(molar)概念,不同于"分子"单元纯粹聚合体的概念,如反射、感觉、脑中枢、驱力、反应的强化、性格、遗传因子等等。心理病理学清楚地表明,心理的机能障碍是系统的失调而不是单一机能的丧失。甚至局部性创伤(例如皮质损伤),随之而来的是总的活动系统的削弱;涉及更高级的因而更不可或缺的机能尤其如此。反过来,系统具有巨大的调节能力(贝塞 Bethe,1931年;歌德斯坦,1959年;拉什利 Lashley,1929年)。

能动的机体 机体不是一个被动的系统,而是一个内在的能动系统,甚至没有外部刺激也如此。反射理论曾假定,行为的基本元素是对外部刺激的反应。与此相反,近年的研究愈来愈清楚地表明,存在于神经系统本身之中的自主活动应看作是基本的。反应机制似乎是在进化和发育的过程中,附加在基本的、有节奏的活动上。刺激(即外部条件的改变)并不在惰性的系统中引起变化过程;

它仅仅在自主的能动系统中修改变化过程(贝塔朗菲,1937年,1960年)。

生命机体维持一种叫做开放系统稳态的远离平衡态,因而它就有可能在本能活动中或在缓解刺激的反应中,消除现存的潜势或"张力";还能进一步趋向更高的层次和更高的组织化程度。机器人模型把对刺激的反应、张力的降低、受外界因素扰动后平衡的再建、环境的适应等等看作行为的基本型式。然而,机器人模型只是部分地包括动物的行为,而完全不能包括人类行为的基本部分。要调察心理物理机体的内在的基本活动,必须重定根本方向,这个方向要有生物学、神经心理学、行为学、心理学以及精神病学的大量证据的支持。

自主活动是行为的最基本形式(贝塔朗菲,1949年*a*;卡米切尔 Carmichael,1954年;黑里克 Herrik,1956年;冯赫斯特,1937年;希勒 Schiller,1957年;威纳,1957年*a*);它存在于大脑机能中和心理过程中(黑布 Hebb,1949年)。近年来,脑干中激活系统的发现(伯林纳 Berlyne,1960年;黑布,1955年;梅贡 Magoun,1958年)突出了这一事实。除刺激—反应形式外,天然的行为还包括无数的活动,从动物的探索,玩耍,仪式到人的经济,智力,美学,宗教以及诸如追求自我实现和创造力等等活动。甚至老鼠也似乎能"寻找"问题(黑布,1955年),而健康的儿童和成人有无数活动,远远超出了降低张力或满足生理需要,不能归结为原起驱力和次起驱力(G·奥波特,1961年)。所有这样的行为,是为行为而行为,在完成行为这件事本身中得到满足("机能乐趣",据比勒)。

同理,张力的完全松弛,如在感觉剥夺实验中那样,不是一种理想状态,反而容易产生难忍的忧虑、幻觉以及其他的类精神变态的症状。囚犯的精神状态,禁闭病房的烦恼加剧症以及退隐和周末神经官能症等等,这些临床症状证明:心理物理机体的健康存在需要有一定量的张力和活动。

自发性活动受损是心理疾病的一个症状。病人愈来愈变成一个自动机或一个刺激一反应机器，被生物性驱力推着走，沉湎于食物、排泄、性满足等的要求。被动机体模型十分适当地描绘了强迫性的刻板行为，脑损伤病人，以及紧张症和有关的心理病态下自主活动性的衰退。出于同样的理由，这个模型突出地表明，正常行为是与此不同的。

动态平衡 心理学上的许多调节遵循动态平衡原理。然而，存在着明显的限度(参看 151 页以后)。一般说，自动平衡模式不适用于：(1) 动力学调节——即不是以固定机制为基础，而是发生在作为一个整体机能作用的系统内部的调节(例如，脑损伤后的调节过程)；(2) 自发活动；(3) 其目标不是降低而是增大张力的过程；(4) 生长，发育创造等过程。我们还可以这样说，自动动态平衡不适宜于解释人类非功利主义的活动——即不是服务于保存自己生存下来的原起需要和次起驱力的活动，如许许多多文化现象。希腊雕塑的发展，文艺复兴时代的绘画，德意志的音乐都与调整和生存无关，因为它们只有符号上的价值而无生物学上的价值(贝塔朗菲，1959 年；又 1964 年 *c*)(与下面对照)。即使生物也决不仅仅是功利主义的(贝塔朗菲，1949 年 *a*)。

自动平衡原理有时被夸张过度变得无聊透顶。殉道者在火刑桩上死去，解释为他的内心过程“异常变位”，以致死亡比继续生存更为“自动平衡”(弗里曼 Freeman，1948 年)；登山运动员应该去冒生命危险，因为“失去受重视的社会地位可能会扰乱平衡”(斯塔纳 Stagner，1951 年)。这些例子表明，为了保全一个来源于经济—商业哲学的模式以及把顺从和机会主义当作最高价值来鼓励，某些作者想要走到何等极端的程度。不应忘记，著名心理学家和思想家坎农(1932 年)，摈弃这样的歪曲；他毫不含糊地强调超出自动平衡范围之外是“无价值的非本质的”(参阅弗兰克尔 Frankl，1959 年 *b*；托奇 Toch，和哈斯托夫 Hastorf，1955 年)。

自动动态平衡模型适用于心理病学，因为心理病人的非自动平衡机能通常是衰退的。因而门林格尔有可能把心理疾病说成是一系列的防御机制，逐渐稳定在低到不能再低的自动平衡层次，只剩下一点点心理活动还在维持。阿里蒂关于精神分裂症中的进行性目的退化的概念，也与此相似。

分化 “分化就是从比较一般和比较匀质的状态转化为比较特殊和比较异质的状态”（康克林 Conklin，据考德里 Cowdry，1955 年）。“凡是出现发育现象的地方，都是从相对完整和缺乏分化的状态进行到分化程度增高、连接方式和层次结构增多的状态”（威纳，1957 年 *b*）。

分化原理普遍地存在于生物学中，存在于神经系统、行为、心理和文化的进化和发育中。威纳深刻地指出，心理机能一般是从朴素概念综合状态即知觉、动机、感情、意象、符号、概念等等的无定形统一体，发展到愈来愈明确的区分。原始状态的知觉似乎是一种联觉（成人身上还有其痕迹，而且还会在精神分裂中、墨斯卡灵和 LSD* 的感受中再现），从它里面分离出视觉的、听觉的、触觉的、化学的以及其他感受**。在动物行为和人类的大量行为中，存在着知觉——情绪——动机的统一体。领悟一个对象而没有情绪——动机色彩是成熟的文明人后来达到的。语言的起源现在还不清楚；但在我们可以思议的范围内，似乎是这样的：“全词组的”（洪堡，参阅威纳，1957 年 a）语言和思想——即具有广泛联想意味的发声和思想，发展到意义分离的和表达清楚的讲话。同样，发达的心理活动的各种范畴，如区分“我”和对象，区分空间、时间、数目、因果等

---

* 墨斯卡灵和 LSD 都是麻醉药品。——译注

** 参阅 J. J. Gibson 近作《看作知觉系统的感觉》(Boston，Houghton Mifflin，1966 年)；脑心理学中的神经全息模型（K. H. Pridoam：《学习的神经心理学和生物化学基础》一书中“记忆的四个 R”，Cambridge，Harvard University press）等等。

等，是从知觉——概念——动机的连续统一体中逐渐发展出来的；这个连续统一体可用儿童、原始人和精神分裂病人的“原始逻辑”知觉来描述(阿里蒂，1959 年；皮亚杰，1959 年；威纳，1957 年 *a*)。神话是富有创造力的浑沌，由此分化出语言、巫术、艺术、科学、医药、习惯、道德和宗教(卡西尔，1953—1957 年)。

因此，“我”和“世界”，“心”和“物”，或笛卡儿的“res Cogitans”(思维)和“res extansa”(存在)，不是原始的论据和原生的对立面。它们是生物进化、儿童的心理发育以及文化和语言历史漫长过程的最终产物；在这个过程中，知觉者不仅仅是一个刺激接受器，而是在十分真实的意义上创造他的世界(例如，布兰纳，Braner，1958 年；坎特里尔 Cantril，1962 年；吉厄兹 Geertz，1962 年；马岑，1964 年)。可以有各种不同的表达方式(例如，奥波特.1961 年；贝塔朗菲，1964 年 *a* 和 1965 年；卡希勒，1953—1957 年；弗洛伊德，1920 年；默卢 Merloo，1956 年；皮亚杰，1959 年；威纳，1957*a*)，但是一般都同意分化是由“自身与环境尚未分化的绝对”所产生的(伯林纳，1957 年)儿童和原始人的泛灵感受(亚里士多德的哲学中还继续存在)，“观相术”的观点(威纳，1957 年 *a*)，“我们”和“汝等”的感受(在东方思想中比西方更强烈得多——科斯特勒，1960 年)，移情作用等等，一步一步发展到文艺复兴时期，物理学终于“发现了无生命的自然”。“事物”和“自我”的区分，经过了格式塔动力学的无数因素，学习过程，社会、文化和语言等决定因素的缓慢建立而出现。“公共”和“私我”的完全区分，若没有命名和语言，即没有进展到符号层次，肯定不会达到；这种区分可能是以印欧语系的语言为先决条件的(霍弗，1956 年)。

所有那些原始状态都可能在心理病理和精神分裂中，通过退化作用以异常的表现形式再现出来。异常，是因为在他们身上的古代元素的任意结合，思想过程严重失真。另一方面，儿童、野蛮人，非西方人的感受尽管原始，然而却形成了有组织的整体。这就导致

我们所研究的下一组概念。

中心化和有关的概念 “有机体不是机器，但可以在一定程度上变成机器，凝结成为机器。然而，永远不会完全变成机器，因为彻底机构化的有机体就不可能对外部世界频繁变化的条件有任何反应”（贝塔朗菲，1949年a）。渐进机构化原理表示从还未分化的整体性转化到较高级的机能；专门化和“劳动分工”就可能产生这样的结果。这个原理也包含有另一个意思，即组成部分的潜在可能性和整体调节能力的丧失。

机械化往往导致主导部分即支配系统行为的组成部分的确立。这样的中心可以起“因果触发器”的作用，也就是说，它与因果守恒(causa aequat effectum)原理相抵触，主导部分一个小小的变化可以通过放大机制引起系统总体的巨大变化。这样，就可以建立起部分和过程的层次结构（参阅第三章）。这些概念除了有一个争论点之外，不需要再作评论了。

在大脑和心理机能中，中心化和层次结构是靠分层而达到的（吉尔伯特，1957年；勒希 Lersch，1960年；拉瑟 Luthe，1957年；罗撒格 Rothacher，1947年），也就是说，靠起支配作用的高级“阶层”的最高地位而达到的。挑剔和争论之点超出了本书的范围。然而，人们会同意，大而化之地看，可以区分开三个主要阶层，或者说三个进化梯级。就脑而言，它们是(1)低等脊椎动物的原始脑，(2)新脑（皮质），包括爬行动物到哺乳动物，(3)某种“最高”中心，特别是人所特有的运动中枢的语言区（布罗卡区）和大面积联想区。同时，还有控制中心的前移，以视觉器官为例，从中脑的视丘（低等脊椎动物）到间脑的侧向膝状体（哺乳动物）到端脑的距状区（人）*。

心理系统的分层有某种程度的平行性，可粗略地划出几个范围：本能、驱力、情绪、原始的“深度人格”，知觉和有意识动作；人的

---

* 参阅科斯特勒近作《机器中的幽灵》(London, Hutchinson, 1967年)。

符号活动特征。没有一种现有的表达方式(例如,弗洛伊德的"伊"[id]、自我和超我,以及德意志分层论的那些表达),不招致反对。大脑进行"意识"的那个小小的部分在神经生理学上的意义还完全不知道。弗洛伊德理论中的无意识或"伊"只包括有限的几个方面,而弗洛伊德之前的学者已经对无意识机能做过更多的综合考察(怀特 Whyte,1960 年)。尽管这些问题还需要进一步澄清,但盎格罗—萨克逊学者以分层理论是"哲学的"理论为理由(埃森克 Essenck,1957 年)而拒绝它,或坚持人与老鼠的行为没有根本的区别(斯金纳,1963 年),却是错误的。这样一种态度,简直是置动物学的基本事实而不顾。何况分层对于理解精神病的行为失调是必不可少的。

退化 精神病有时被说成是"有古老的或较幼稚的形式退化"。这是不正确的。布柳勒指出过,儿童不是小精神分裂者,而是机能活动正常的人,虽则这些机能还是原始的。"精神分裂症虽然会退化到低级层次,但不会整合于低级层次,他仍将处于瓦解状态"(阿里蒂,1959 年)。从根本上说,退化是人格的崩解,也就是反分化和去中心化。反分化指的是,现象机能并未丧失,而再现原始状态(朴素概念综合、联觉、原始逻辑思考等)。去中心化,就极端状况而言,是精神病患者身上机能性脑过程障碍(阿里蒂,1955 年)。据布柳勒的说法,人格分裂、轻度的神经过敏情绪(即占优势的心理实体)、自我意识的机能障碍、薄弱的自我意识等等,同样表明有层次的心理结构的松解。

边界 任何经得起审查的系统实体必定有边界,不是空间上的边界就是动力学边界。严格地说,空间上的边界只存在于朴素的观察中,而所有的边界归根结底都是动力学边界。人们不可能确切地画出原子的边界(仿佛带有许多伸出的价键去吸引其他原子)、石头的边界(它是分子和原子的聚集体,其中大部是虚空、粒子间相隔行星般的距离)、或有机体的边界(不断地与环境交换物质)。

心理学中，自我的边界既是基本的又是不确定的。我们已经指出，它是在进化过程中和发育过程中慢慢地建立起来的，而且永远不会完全固定。它起源于自感经验和身体的表象，但在“我”、“你”、“他”等词出现之前，自我身份是不会完全树立起来的。心理病理学表明，自我的边界既很僵硬，又很易变，这是一个佯谬。精神分裂者的混合知觉、泛灵感觉、错觉和幻觉等等，助长了自我边界的不安全感；但在他自创的世界里他生活在“壳中”，与动物生活在受它们构造束缚的世界里生活在“肥皂泡”里十分相似（希勒，1957 年）。与动物的有限“境界”不同，人是“向世界开放的”，或者说有一个“宇宙”；也就是说，他的世界远远地超出生物学上的束缚，甚至超出他感官的限度。对于人来说，从专家到神经病人，极而言之，到精神分裂者，“囊中人”（罗伊斯 Royce，1964 年）有时是致病的可能性限度。这些都可以在人的符号机能中找到根据。

符号活动 “除了满足直接的生物性需要外，人不是生活在物的世界中，而是生活在符号的世界中”（贝塔朗菲，1956 年 *a*）。我们也可以这样说，各种各样的物质的和非物质的符号系，把人类文化与动物社会区别开来，是人的行为系统的一部分，而且多半是最重要的部分。人们可以怀疑人是不是理性动物；但是有一点是肯定的，人是彻头彻尾的创造符号的生物，受符号支配的生物。

符号体系是人的独特判据，这是生物学家（贝塔朗菲，1956 年 *a*；黑里克，1956 年）、巴甫洛夫学派的心理学家（“第二信号系统”）（柳西亚 Lusia，1961 年），精神病学家（阿普尔比 Appleby；谢尔 Scher；孔明斯 Cummings；1960 年；阿里蒂，1956 年；歌德斯坦，1959 年）和哲学家（卡希勒，1953—1957 年；伦格 Langer，1942 年）所公认的。由于机器人哲学占统治地位，因而在有影响的心理学教科书中找不到它。但是有些说法恰恰是指符号机能，如“动物的动机并不是人的动机的适宜模型”（G·奥波特，1927 年），人类的人格不像弗洛伊德本能理论所设想那样在三岁左右完成。

符号活动的定义，作者已在别的地方下过（贝塔朗菲，1956 年 *a* 和 1965 年），就不在这里讨论了。只要说说可能用于标志人类行为的所有概念是符号活动的结果或是符号活动的几个不同方面就够了。文化或文明；与被动知觉大不相同的有创造力的原觉（默里 G·奥波特），外部事物和自身的客观性（森布 Thumb，1943 年），自我——世界统一体（纳廷 Nuttin，1957 年），以具体阶层为背景的抽象（歌德斯坦，1959 年）；有过去和将来，“时间凝固”，预知将来，真正的（亚里士多德的）目的性（参阅第三章），有意识策划的意向（G·奥波特，1961 年）；畏惧死亡，自杀；意志和意图（费兰克尔，1959 年 b），从事自我满足的文化活动的兴趣（G·奥波特，1961 年），理想主义地献身于一个（也许没有希望的）事业，殉道；“有助于信心的成熟动机”（G·奥波特 1961 年）；自超越；自我意志自由，与自由相抵触的自我机能；特发性攻击（贝塔朗菲，1958 年）；良心，超我，自我理想，价值，道德，掩饰，诚实和撒谎——所有这些问题都是从符号总体这个根子上长出来的，因而不能还原为生物性驱力、精神分析上的本能、奖励的强化或其他的生物因素。**生物的价值和人类特有的价值**区别就在于，前者涉及个体的维持和种族的生存，而后者总是涉及符号总体（贝塔朗菲，1959 年及 1964 年 a）。

因此，人的心理失调通常总包含符号机能的失调。丘比（Kubie，1953 年）看来是正确的，作为神经官能症的“新假说”，他把“由早年高负荷体验的歪曲影响而产生的心理病理过程”与“包含在符号机能歪曲中”的心理病理过程区分开来。精神分裂症基本上也是在符号层次上失调，可能有许多不同的形式：联想结构的松散，自我边界的打破，讲话和思想失调，观念的定型化，去象征化，原始逻辑的思维等等。我们参考了阿里蒂（1959 年）和歌德斯坦（1959 年）的讨论。

结论（决不是普遍接受的结论）：**心理病态是人类特有的现象。**

动物以它们的行为表现出(我们完全靠移情体验才了解)许多知觉的、运动器官的和心境的失调,幻觉,梦,错误反应等等。动物不会有符号机能的失调,而这是心理疾病的基本组成部分。动物不会有观念的失调、壮丽的错觉或受迫害的错觉等等,道理很简单,没有作为出发点的观念。所以所谓"动物神经官能症"只是临床实体的部分模型(贝塔朗菲,1957 年 *a*)。

这就是为什么人类的行为和心理学不能归结为诸如自动动态平衡的重建、生物性驱力的冲突、母婴关系的不满足等等生物学家的概念的根本原因。换句话说,这就是心理病态对文化的依有性,从症状学和流行病学两方面看都如此。说精神病学有一个生理——心理——社会的结构,只是同样事实的另一种表达。

同理,人类的努力多于自我实现;它指向客观目标和价值的实现(弗兰克尔,1959 年 *a*,1959 年 *b*,1960 年),简直就是在某种程度上与创造者相分离的符号实体(贝塔朗菲,1956 年 *a*,又 1965 年)。或许我们可以大胆地下一个定义,在生物性驱力和符号价值系统之间可能存在冲突;这就是心理——神经官能症的情境。或者,在符号总体、价值方向的丧失与个体中无意义的体验可能存在冲突,这就是产生存在性神经官能症或"非基因"神经官能症的情境。这个见解也适用于"性格失常",如青少年犯罪,它完全从心理动力学中分离出来,而根源于价值系统的崩溃或腐蚀。在别的情况下,文化是一个重要的心理卫生因素(贝塔朗菲,1959 年和 1964 年 *c*)。

系统——新的概念框架 我们已经全面地研究了系统论的基本概念,我们可以总结一下,这些概念为心理病理系统提供了坚固的框架。

心理疾病基本上是心理物理机体的系统机能失调。据此,孤立的症状或症候群不能定义这种疾病实体(贝塔朗菲,1960 年 *a*)。让我们看看精神分裂的几个典型症状。"联想结构的松散"(布柳

勒)和无约束联想链;在“小学生”的诗作和浮夸中可找到十分相似的例子。幻听;“呼声”召唤贞德去解救法国。透物感觉;像圣泰里瑟那样的大神秘主义者报告了同一体验。异想天开的世界结构;科学中的异想天开远远超过精神分裂者。这不是在“原发与疯狂”这个题目上做文章,而是贴切地表明,只有综合标准而不是单一标准才有利于区别。

精神病的失调可以近似地用系统术语来定义。关于认识,如现象学和存在主义学派的作者(例如梅 May 等人,1958 年)所描写,精神病患者的世界是“他们头脑的产物”。但是,我们正常人的世界也是知觉本身把情绪、动机、社会、语言等等因素混合起来而塑造出来的。健康的个人就有幻想、错觉和幻觉,至少梦中是如此。幻想机制在恒定现象中甚至起着重要的作用,没有它就不可能有一个连贯的世界图象。正常状态和精神分裂状态的区别,并不在于正常知觉是实在的“如实”的平面镜,而在于精神分裂的主观因素失控以致崩溃。

这个道理同样适用于符号层次。科学概念,如地球以不可思议的速度在宇宙中奔驰,又如固体大半是虚空,极小的能粒子在极大的距离上交织在一起,都同日常经验和“通常见识”相抵触,而比精神分裂者的“世界图样”更为异想天开。然而科学概念碰巧是“真的”——它们适合于一体化的概念体系。

这个想法还适用于动机作用。自发性概念画出边界线。正常的动机作用指的是自主活动,行为整合,在变化着的处境中可塑性和可适应性,符号预知的自由运用,决断等等。它突出机能的层次性,尤其突出附加在机体机能上的符号层次。所以,在系统论看来,“符号机能”的“人本主义”原理必定比“自发活动”的有机性原理更根本。

所以个人的心理是健康还是不健康,其答案最终取决于他的一体化宇宙是否同已有的文化框架相一致(贝塔朗菲,1960 年 *a*)。

在我们可以看到的范围内，这个标准包括了心理病理学与正常心理相比较的所有现象，并给心理规范的文化依赖性留下余地。如文化人类学家（贝内迪克特，1934 年）所指出的，与一种文化相一致的东西，在另一种文化中可能是病态。

这个概念明确了心理疗法的含义。显然，如果心理物理机体是能动系统，那么职业疗法和附加疗法就是必然的结论；潜在的创造力的唤起比被动的调整要重要得多。如果这些概念是正确的，那么比"发掘过去"重要得多的是，洞察现在的冲突、恢复整合的企图以及指向目标和将来的方向，也就是符号预知。当然，这是以"人格是系统"为基础的心理疗法最新趋势的释义。最后，如果大量的现代神经官能症是"存在性"的，是由于生活无意义而引起的，那么"语言疗法"（弗兰克尔，1959 年 b）即符号层次的疗法是适宜的。

因此，这表明——在不掉进"独尊"哲学而贬低其他概念的陷阱的情况下——人格的系统理论为心理学和心理病理学提供了健全的基础。

结　论

心理学和精神病学中的系统论，并不是对新发现作一个戏剧性收场；如果读者有 dé jávu（错觉），我们也不去反驳他。我们要说明的是，这个领域中的系统概念不是思辨性的东西，不是企图给事实穿上现在碰巧流行的理论拘束衣*，也与行为主义者十分害怕的"心灵主义的拟人说"无关。然而，系统概念与自动机理恰恰相反，它得出人的更真实的（从而也更尊敬的）形象。而且，它给科学的世界观带来了深远的后果；这只能在下列大纲中提一提：

（1）系统概念提供了在心理物理学上中立的理论框架。物理

* Straitjacket，精神病院中给疯人穿的拘束衣。——译注

学和生理学的术语如动作电位、神经元突触的化学传递、神经网络等等不适用于心理现象，而心理学的概念更不能用于物理现象。前面所讨论的系统术语和系统原理能够用于说明两个领域中每一领域中的事实。

(2) 我们不在这里讨论心一身问题，作者已在另外一篇研究论文中谈过这个问题(贝塔朗菲，1964 年 a)。我只能概括地说一说，在物和心、外部对象和内部自我、脑和意识等等关系上，笛卡儿的二元论无论从现象学的直接经验，还是从现代各个领域的研究看来都是不正确的。它是起源于 17 世纪物理学的概念化产物，尽管在现代的争论中还很盛行(胡克，1961 年；希尔，1962 年)，却是过时的东西。根据现代的观点，科学不搞形而上学的陈述，无论是唯物主义、唯心主义，还是实证主义的"感觉资料"。把经验的有限几个方面在形式结构上复制就是概念的构成物。行为理论和心理学理论在形式结构上或在同型性上应该是相似的。系统概念很可能就是这种"共同语言"的最初开端(比较皮亚杰、贝塔朗菲和坦纳 Tanner、因黑尔德 Inhelder)，在遥远的将来，它可能导致"一体化理论"(怀特，1960 年)，由此可以最终导出物质和精神、意识和非意识等方面。

(3) 在发展了的框架中，自由意志和决定论也可得到新的确定的意义。混淆了经验的和认识论的不同层次所产生的命题以及从形而上学所产生的命题是假命题，我们自由地去体验，只是由于因果范畴没有用到直接的或即时的体验中去。因果性是用于把秩序带进复制为符号的客体化经验的一个范畴。在符号中，我们试图把心理现象和行为现象解释为因果决定，而且我们可以用考虑更多的动机因素的办法，用精制模型的办法，以及其他的办法，愈来愈近似地做到这一点。意志不是已决定的，而是可决定的，如动机研究者和统计学者所知，在行为的类机器方面和平均状况下尤为如此。然而，因果性不是形而上学的必需品，而是给经验带来秩序

的一种工具，而且还存在其他同等的或更高级的“透视”（见第十章）。

（4）责任心的道德问题和法律问题是与认识论问题分离的。人们总是在已有社会环境所接受的价值符号框架中来判断责任心的。例如，姆纳坦教规（M' Naghten rules）宽恕那些“不能分辨是非”的犯罪者，实际上就是说，他的符号理解力消失了，他的罪行就不受惩罚；他的行为只不过是由“动物”驱力决定的。在社会的正常状态的符号框架中，杀人是禁止的，是要作为凶犯惩罚的，但在战争的价值框架中就不同，杀人是奉命行事的（而拒绝命令则要受惩罚）。

第十章　范畴的相对性

霍弗的假说

在人类学各学科的最新成果中，很少有像已故的本杰明·霍弗所提出的观点那样，受到那么多的注意并引起那么多的争论。

霍弗所提出的假说是：

“人们普遍认为，全人类的认识过程具有先于语言交流并独立于语言交流的共同的逻辑结构。这是不正确的。霍弗的观点是，语言型式本身决定个人在这个世界中看到什么和怎样来考虑它。由于语言型式的差别很大，因此使用不同的语言系统的集团有不同的思维模式和观察模式，并导致根本不同的世界观”（菲埃林 Fearing，1954 年）。

“因此，我们要采用一个新的相对性原理。这个原理认为，除非语言背景相似，观察者根据同样的自然迹象不会得出同样的世界图景……我们把事件分布和事件流分割开来并组织起来，很大程度上是由于我们作为本民族语言约定的一员去经常这样做，而不是由于自然界本身真正像我们所看作的那样分割开来”（霍弗，1952 年）。

例如，在印欧语系中，形容词和动词是基本的语法单元，一个句子基本上是由这些部分组合而成的。坚持可从实体分离出它的特性以及主动的行为或被动的行为，这样的图式是西方思维方式的根本范畴。从亚里士多德的“本体”、“属性”、“作用”等范畴，到物理学中的物质和力的对立、质量和能量的对立都是如此。

印第安语言，如诺卡（温哥华岛）或霍比等语言，就没有词类或

主语和谓语的划分。它们是从整体上来表达一个事件。例如我们说："a light flashed"（火光闪烁过了）或"it flashed"（它闪烁过了，"它"是不定的实体），而霍比语则只用单一的词"闪烁"（已发生）。

把数理逻辑方法用于这样一些语言，就是一个大问题。像诺卡或霍比语言的陈述能够用通常的逻辑概念来表达吗？或者说，逻辑概念本身是不是印欧语结构的一种形式化？看来，这个重要的课题还未曾研究过。

印欧语强调时间。霍弗认为，语言和文化之间的"相互交换"，导致记录的保存、日记、由记帐而促进的数学；导致日历、时针、年表、在物理学中应用的时间；导致历史观点、对过去的兴趣、考古学等等。把霍弗的观点与施本格勒关于西方的世界图景中时间中心作用的观点作一比较是很有意思的，两人的观点各异却得到一致的结论。

过去、现在和将来的区分对我们来说是不证自明的，而在霍比语中却不存在。霍比语并不区分时态，一个陈述可以有效地表示事实、回忆、期望或习惯。霍比语中，"he runs"（他经常跑）、"he is running"（他正在跑），"he ran"（他过去跑过），没有什么区别，统统表达为 wari（出现跑的动作）。作为期望则表达为 warihki（我想跑的动作会出现），这个词包括"he will，shall，should，would run"（他愿跑，他将跑，他应跑，他会跑的）。然而，如果是一个一般规律的陈述则用 warihngwe（跑的动作出现，表示特性）（拉巴雷 La Borre，1954 年）。霍比语"没有这样的一般概念或直觉，即时间是平滑流动的连续体，宇宙万物都在其中等比率地进行，它从将来，经过现在，流入过去。"（霍弗，1952 年）。霍比语没有我们的时间和空间的范畴，只用感觉去辨认"表现"，并不区分现在、过去和"未表现"的将来以及我们叫做精神的东西。那伐鹤语*（参考克卢克杭

* 美国西南部的印第安人的语言。——译注

和莱汤 Leighton,1951 年)对时态有所展开,着重于活动的类型,因而它区别持续、完成、经常、重复、复述、祈使、半使役、瞬间、进行、过渡、意动等方面的动作。可以这样来说明几种语言的差别,英语(一般地说,印欧语系)首先关心的是时间,霍比语是有效性,而那伐鹤语则是活动的类型(克卢克杭教授所说的人际通讯)。

霍弗问道:"如果方程式中没有 t(时间),那么沿着这样的思想路线,怎么能构思出物理学来?毋庸置疑,就我所知,它当然要求有与此不同的思想体系以及可能也与此不同的数学。v(速度)也必定是如此。"(1952 年)

另外,有人可能提出,无时间的物理学确实是存在的,如古希腊的静力学。我们说,它只是更广泛的系统即动力学的一部分,是 $t\to\infty$ 的特例,即时间逼近无穷大而退出方程式。

至于空间,印欧语广泛地用空间的比喻来表达时间的持续性;重大(heavy)、轻微(light)、高(hight)低(low),表达强度;接近(opproach)、上升(rise)下落(fall),表达趋势;拉丁语 educo religo,compreherdo* 等措词隐喻着空间的(形体的,可能更恰当,贝塔朗菲)关系:带领出(lead out)、来回打绳结(tying back)、抓住(grasp)等。

霍比语就不是这样的,它用心理上的比喻来命名真正的物质性的事物。霍比语中"心"这个词的晚近形式是来源于意为"思考"和"记忆"这个词根。据霍弗说,霍比语言能够在实用的和观察的意义上说明和正确描写世界上一切可观察的现象。然而,内含的形而上学就完全不一样,它是一种泛灵论的或活力论的思维方式,接近于心灵象征的一体经验。

因此,霍弗坚持说:"牛顿体系的空间、时间和物质范畴不是直觉,而是从文化和语言中得来的"(1952 年)。

---

* 这些动词转化为名词即教育、宗教、理解。——译注

“正由于在欧几里得几何学之外，还可能有许多几何学可以同等完美地描写空间构型，所以就有可能不用我们熟悉的时空参考系而都等效地描述宇宙。现代物理学的相对论就是其中之一，它是用数学语言想象出来的。而霍比人的 Weltanschavvng(世界观)是另一种完全不同的世界观，它是非数学的和语言的描述(霍弗，1952 年)。

根深蒂固的数学思维方式给现代科学的发展带来困难。这是我们特有的语言范畴和习惯的结果。霍弗希望，洞悉多样的语言系统可能对重新估价科学概念会有所贡献。

拉巴雷(1954 年)曾鲜明地概括了这个观点：

“亚里士多德的‘本体’和‘属性’看上去非常像印欧语中的名词和谓语形容词，……现代的科学完全有理由提出疑问，认为康德的时空‘形式’或时空‘双目镜’(没有它我们什么也不能察觉)不仅仅是印欧语的动词时态，也不是人类的立体观测、动觉和生命过程——可以更经济地用爱因斯坦公式中的 c 即光速常数来表达它。但是，我们必须时刻记住，$E=mc^2$ 也不过是用印欧语的词法范畴来表达实在的一个语法概念。霍比族、中国或爱斯基摩的爱因斯坦可能根据他的语法习惯发现完全不同的数学概念化的方式并以此来统觉实在。”

本书不打算讨论霍弗所提出的语言学问题，最近有一本专著(赫耶尔 Hoijer 等人，1954 年)已详尽地讨论了这个问题。然而，本书作者已经想到，那个以霍弗命名的假说并不是多少有点狂妄的个人的孤立的陈述。霍弗关于语言对认识范畴的决定作用的假说，是对认识过程普遍修正的一个组成部分。它深藏于现代思想的强大潮流中，它的根源可以在哲学以及生物学中找到。看来这些联系并没有得到应有的认识。

上面所提到的问题可以一般地表述如下：我们的思维范畴在多大程度上用生物因素和文化因素来构成模型，又在多大程度上

依赖于生物因素和文化因素？显然，用这种方式来陈述，问题就远远超出语言学的范围，而触及人类知识的基础这个问题。

这样的分析必定要从经典的、绝对论的世界观开始。这种世界观最初在康德体系中表现出来。根据康德的论点，所有的理性生物一致约定了空间和时间等直觉形式以及本体，因果等等理智范畴。在这些范畴的基础上，科学有同等的普遍性。自然科学应用了这些先验的范畴，即欧几里得空间、牛顿的时间和严格决定论的因果关系，本质上就是经典力学。因此经典力学是知识的绝对系统，适用于一切现象以及一切观察者的心理。

众所周知，事实上现代科学早已认识到事情并非如此。没有必要对这一点作过多的说明。欧几里得空间只是几何的一种形式，在此之外还存在其他的非欧几何，它们确实有同样的逻辑结构，也同样有存在的权利。在中等尺度的世界中，以近似的方式来应用欧几里得空间和牛顿时间是令人满意的。然而，到了天文尺度，另一方面到了原子事件，就要采用非欧空间或量子理论的多维构型空间。在相对论中，空间和时间融合于闵科夫斯基并集中，这里的时间是四维连续统的一个坐标，尽管多少有点特殊性。固体物质是经验的最突出部分，也是朴素物理学的最平常的范畴，在它的内部几乎完全是空洞，绝大部分是虚空，只是由一些能量中心交织起来，鉴于这些能量中心的数量级，可以说它们彼此以天文距离分割开，质量和能量，是材料和力这两个对立范畴的比较复杂一些的数量表示，看来是同一个未知实在的表达方式，根据爱因斯坦定律它们可以相互转化。同样，经典物理学的严格决定论，被量子物理学中的非决定论所代替，或者说，被自然定律本质上具有统计特征的这种见解所代替。在这方面，康德没有留下一个先验的和绝对的范畴。顺便提一句，这是世界观相对性的有代表性的一个例子，即康德在他的时代，是一位所有"教条"的破坏者，而在我们的时代，他的那些范畴是不应有的教条主义的和绝对论的范式。

因此就出现了问题——决定人类认识范畴的是什么呢？在康德体系中，那些范畴对于任何有理性观察者似乎是绝对的，而现在这些范畴显得要随知识的进展而变化。从这个意义上说，早期的和经典物理学的绝对论概念要被科学的相对主义所代替。

这个讨论的论据可以说明如下。知识的范畴，日常知识的范畴和科学知识的范畴都一样，归根结底是以前的范畴的改进，第一，依赖于生物学的因素。第二，依赖于文化的因素。第三，尽管与人类本身的牵连太多，但是从人类局限性的束缚中解放出来的绝对知识，在一定意义上是有可能的。

范畴的生物学相对性

认识首先是依赖于人的心理物理组织的。我们在这里特别要提到维各布·冯·尤克斯屈尔创立的名为 Umwelt-Lehre（境界学说）的现代生物学方法。它的基本论点就是，每一种生命有机体只从实在这块庞大的蛋糕上割取它能够察觉和能够反应的一小片，这是由它的心理物理组织即接受器官和效应器官的结构所决定的。尤克斯屈尔和克里斯扎特（Kriszat，1934 年）曾用迷人的图片来说明自然界的同样切片在各种不同的动物眼中看来是怎样的情景。这些图片可与霍弗的同样有趣的图画相比较，霍弗的那些图画显示世界是怎样按语言型式而被模型化的。这里，只提一提从尤克斯屈尔广泛的行为研究中选出来的几个例子。

以单细胞有机体草履虫为例。逃跑反应（趋避性）几乎是它的唯一反应方式；它借此对多种多样的刺激如化学的、触觉的、热的、光的刺激做出反应。然而这种简单的反应已足以把这种不具有专门感觉器官的动物安全地引导到条件最佳的区域中去。草履虫的环境中的许多东西，如水藻、其他的纤毛虫、小甲壳虫、机械障碍物等等。对它说来是不存在的。它只接受一种刺激，即导致逃跑反应

的一种刺激。

这个例子表明，生物的组织样式和功能样式决定了某些东西能够成为“刺激”和“特征”，生物体以某种反应对此作出反响，按照尤克斯屈尔的说法，任何生物体从它周围的多种客体中割出少量的对之作出反应的特征。这些特征的整体形成了它的“境界”(Umwelt)，其余一切对于那个特定的生物体是不存在的。每种动物都像被肥皂泡包围那样被它的特定的境界所包围，这种境界充满着从属于它的特征。如果我们复制一种动物的境界，而且我们进入这个肥皂泡，那么世界就极大地改变了。许多特征消失了，其他的特征出现了，从而发现一个全新的世界。

尤克斯屈尔已给出无数的例子来描绘各种不同的动物的境界。举一个例子，潜伏在灌木丛中的扁虱等待着过往的哺乳动物，准备移居到这个动物的皮肤上去，把血喝得饱饱的。信号是从一切哺乳动物皮肤汗腺散发出来的丁酸气味，随着这个刺激，扁虱跳下来，凭着它的敏感的热感官的监控，如果它落到一个温暖的身体上，它就已到达它的猎物即一个温血动物的身上，剩下来的事情就是在触觉器官的帮助下找到毛发的空隙的地方刺入。因此，扁虱的丰富多彩的环境缩小且变形为一个狭小的构型，那里只有三个信号像灯塔似地在闪光，然而它们已足够引导这种动物确定无疑地到达它要到的目标。此外，海胆对任何一种光线暗转都作出把刺竖起的反应。无论是飘过一朵云，还是通过一艘船只，还是过来一个真正的敌人，一条逼近的鱼，海胆都一成不变地用这种反应来对付。所以，尽管海胆的环境包括许多不同的客体，但它的境界只有一个特征，即光线变得暗淡下来。

境界的这种组织上的约束比刚才提到的例子还要意义深远(贝塔朗菲，1937 年)。它也涉及直觉形式；康德认为直觉形式是先验的、不变的。生物学家发现，没有绝对的空间和时间，只有依赖于正在观察的生物体组织的空间和时间。三维的欧几里得空间，三个

互相垂直的坐标是等价的，总是与经验的，知觉的先验空间相一致的。但是即使简单地想一想也能发现，视觉的和触觉的知觉决不是欧几里得空间，这方面的实验证明了这一点(阿莱希 von Allesch，1931 年；斯克兰利克 Skramlik，1934 年，以及其他一些人)。知觉中的空间，其坐标决不是等价的，而是在上下之间，左右之间，前后之间有着根本的差别。我们身体的组织，至少生物体受地心引力支配这一事实，已经造成水平尺度和垂直尺度的不等性。用任何一个摄影者都熟知的简单事实就很容易说明这一点。我们十分正确地体验到，按照透视的规则，像铁路轨道这样的平行线会在远处会聚。然而我们又确实体验到，按照透视法，同样的透视如果出现在垂直方向上就是错误的。如果把照相机镜头翘起摄得一张照片，我们就得到"倾倒线"，如房屋边线向前会合。这在透视上说是正确的，而房屋边线的会聚在经验上觉得是错误的；可以这样来说明这种现象，人类有机体的境界有着很大的水平延伸，而垂直延伸却是无足轻重的。

经验上的时间也有同样的相对性。尤克斯屈尔采用"瞬间"这个概念作为能觉察到的时间最小单位。对人来说，这个瞬间大约是1/18 秒，也就是说，短于这个持续时间就察觉不到分立的印象而只觉得融合成一片。看来瞬间的持续时间并不取决于感觉器官的状况，而是取决于中枢神经系统，因为不同状态的感觉器官其瞬间都是一样的。当然，这种闪光融合是电影的 raison d'e'tre(原理)，当画面以快于每秒 18 幅的速率顺序出现就融合为连续的活动。不同的物种有不同的瞬间持续时间。有"电影慢动作动物"(尤克斯屈尔)，它每秒钟觉察的印象比人要多得多。所以，如用一种机械装置，使镜子中每秒出现 18 次斗鱼(Betta)的形象，斗鱼就不认识这个形象。每秒出现 30 次以上，斗鱼就攻击镜子中的对手。所以，那些小型的、非常活跃的动物每天文时间单位所消耗的印象数同比人多得多；时间减速了。相反，蜗牛是"电影快动作动物"。如果一

根棍棒的摆动接近每秒四次，蜗牛向这根摆动的棍棒爬去，这就是说，每秒四次摆动的棍棒对蜗牛显得是静止的。

经验的时间不是牛顿式的时间。它依赖于生理条件，而远非均匀地流动（牛顿的 equilabititer fluit）。动物和人的所谓时间记忆似乎取决于“生理钟”。所以，习惯于在一定时间出现于喂食地点的蜜蜂，如果用了增加或减少代谢率的药物，就会显出早到或迟到的现象。（如，施泰因—比林 Stein-Beling，1935 年；卡尔姆斯 1934 年；沃尔 Wahl，1932 年；及其他人）。

经验时间如果充满着印象，它似乎是飞快的；如果我们处于单调的状态中，它似乎在缓缓地流动。处于高烧中，那时体温和代谢率增高，时间似乎逗留不去，因为每一天文单位（尤克斯屈尔的意义上）的“瞬间”数目增加了。这种时间感受与脑中 a -波频率相应增加是同步的（霍格兰特 Hoagland，1951 年）。随着年龄的增加，时间显得流失得快，也就是说，每一天文时间单位所感受到的瞬间的数目少了。相应地，创伤的愈合速率也与年龄成反比。生理的以及心理的衰老现象明显地与代谢过程逐渐慢下来有关（迪努伊 du Noüy，1937 年）。

有些人已经为建立与天文时间相对照的生物时间作了一些尝试（布罗迪，1937 年；巴克曼 Backman，1940 年；贝塔朗菲，1951 年）。一种手段是生长曲线的同系化。如果不同动物的生长过程是用相同的公式和曲线来表示，时间标度的单位（用天文时间测定）将是不同的，而重大的生理变化大概将出现在曲线的相应点上。从物理学的立场来说，热力学的时间，基于第二定律和不可逆过程，可以与天文时间分庭抗礼（普里高津，1947 年）。热力学的时间不是线性的，而是对数型的，因为它取决于概率；同理，它是统计的；而且它是局部的因为取决于在一定点上的事件。可能生物学的时间与热力学的时间有密切的关系，然而决不是简单的关系。

经验范畴怎样依赖于生理状态，也可用药物的作用来显示。在

墨斯卡灵的灵影响下，视觉印象增强了，从而空间和时间的知觉发生极度的变化（参见安许茨 Anschvtz，1953 年；赫胥黎，1954 年）。调查精神分裂症患者的范畴可以作出最有趣的研究，而且可能会发现它们与“正常”经验的范畴有很大的不同，就像在梦中体验到的范畴那样。

即使最基本的经验范畴，即自我和非自我的区分，也不是绝对固定的。它似乎在儿童发育过程中逐渐进化的。它在原始部落的泛灵论的思维中（还大量地在亚里士多德的理论中，一切事物“寻找”它的自然位置），和在文艺复兴以后“发现了无生命现象”的西方思维中，有着本质的差别（沙克塞尔，1923 年）。主客观的区分也在诗人的移情作用的世界观中，在神秘的入迷中，和在中毒状态中消失。

没有实质上的证明，可以把我们认为是“正常的”经验（即 20 世纪欧洲正常的成年人的经验）看作是对这个世界的“真实的”描绘；也没有实质上的证明，可以把所有其他种类的经验看作仅仅是反常的，古怪的或顶多只是对我们“科学的”世界图景的一种原始先兆。

对于这个题目的讨论还可以详细地谈下去，但是这个问题的要点已经讲清楚了。经验的范畴或直觉的形式，用康德的术语来说，不是普遍先验形式，而是依赖于正在体验的动物（包括人）的心理物理组织和生理条件。生物学观点上的相对主义很有趣地对应于文化和语言观点上的范畴相对主义。

范畴的文化相对性

现在我们来讨论第二点，范畴对文化因素的依赖性。前面已经提到，霍弗关于范畴对于语言因素的依赖性的论点，是过去 50 年发展起来的文化相对主义这个一般概念的一部分；然而这不是十

分准确的，因为威廉姆·洪堡已经强调过我们的世界透视对于语言因素和语言结构的依赖性。

看来这个发展是在艺术的历史中开始的。本世纪初，维也纳艺术史家里格尔，发表了一篇关于古罗马艺术品的非常博学和冗长的论文。他提出 Kunstwollen 这个概念，这个名词可以译为“艺术家的意向”。他猜想原始艺术的非自然主义的特征，不是由于缺乏技能和专门知识，而是由于艺术家意向和我们不一样，他们对于现实主义地复制自然界不感兴趣。同样的道理也适用于古希腊时期的古典艺术的所谓衰落。后来沃林格（Worringer）扩展了这个概念。他以哥特式艺术为例来论证。哥特式艺术模式与古典规范完全相反，这不是由于技术上无能，而是由于不同的世界观。哥特式的雕塑家和画家并不是不知道怎样准确地描绘自然，只是他们的意向不同，不是集中于描写性的艺术。这些理论与现代艺术中的原始主义和表现主义的关系就无需多议了。

我想提供同样现象的另一个有启发性的例子，它同描写主义的艺术和表现主义和艺术的对立，写实的艺术和抽象的艺术的对立无关。它出现于日本木刻的历史中。

日本近期的绘画使用某种透视法，即有名的平行透视法，它和文艺复兴以来欧洲人所使用的中心透视法不同。众所周知，荷兰关于透视法的论著在十八世纪后叶已传入日本，而且日本的木刻师们热切地学习它。他们把透视法作为描写自然的有力手段，但只是在很小的限度内使用。欧洲的绘画运用中心透视法，以一个焦点和平行线最终在远处会聚来构思图画，而日本人则只接受平行透视法，即焦点在无穷远处的投影方式，因而平行线并不会聚于一点。我们有把握地说，这并不是 Hukusai 和 Hiroshige 等著名的日本艺术家缺少技能，而且后来他们对现在欧洲艺术产生深刻的影响。他们要去采用一种他们已掌握的现成的艺术手段肯定不会有什么困难。我们猜想，他们可能是觉得依赖于观察者视点的那种中心透

视法是依情况而定和偶然的，而不是描写实在，因为它随着观察者由一个地点移动到另一个地点而变化。同时，日本艺术家从不画出阴影。当然，这并不意味着他们没有看见阴影或者在骄阳下躲进遮荫处。他们不过是不愿意去画阴影，因为阴影并不属于实在的事物，而只是变化着的外观。

所以，艺术创作的范畴似乎依赖于特定的文化。大家知道，施本格勒把这个论点扩展到认识范畴。按照他的说法，所谓先验形式，除了包括人类普遍具有的和逻辑上必需的少数思维形式之外，还包括并不是对整个人类都普遍适用的和必需的而只对该特殊文明是普遍适用的和必需的思维形式。所以，存在着具有一定的人类集团特征的各不相同的"认识式样"。施本格勒并不否定逻辑形式规律和经验的 verites de fait（事理）的普遍有效性。然而，他坚决主张科学和哲学中先验内容的相对性。数学方程之类带有逻辑上的必然性；但是，赋予它们意义的形象解释却是把它们创造出来的文明的"灵魂"的表现。从这方面说，我们的世界图景只是相对有效的。它的基本概念，诸如无限空间、力、能量、运动等等，是我们西方类型的心理的表现，而并不是其他文明的世界图景所拥有的。

施本格勒的范畴的文化相对主义主要基于他著名的关于阿波罗人和浮士德人的对立的分析。他认为，古代的阿波罗式的思想的原始符号是个人物质的和肉体的存在，而西方的浮士德式的思想的原始符号是无限空间。所以，对于希腊人来说，"空间"就是 mèón（人们自己），不是原始符号。因此，阿波罗式的数学是可以形象化的量值，在测体积术和几何作图法中达到顶点，这在西方数学中是无关紧要的初级课题。相反，由无限空间这个原始符号支配的西方数学则是一种纯粹关系的理论，在微积分和多维空间的几何学等中达到顶点，从它们的非形象化来说，是希腊人所完全不能想象的。

第二个对立面是希腊思想的静态性质和西方思想的动态性

质。因比，对于希腊的物理学家来说，原子是微型的造形物体；对于西方物理学家来说，原子是能量中心，其作用辐射到无限空间。与此相关的是时间的含义。希腊的物理学没有时间维，这是由于它的基础是静力学。西方物理学则深深地关心事件的时间过程，熵的观念可能是这个体统中最深入的概念。西方心理从关心时间发展到历史的倾向，它表现在时钟的支配作用，个人的传记、以及"世界历史"的大量的透视，从编年史到文化史到人类学、生物进化论、地质史直至宇宙的天体史。而且同样的对照也表现在心理的概念上。静态的希腊心理学设想和谐的心灵——肉体，据柏拉图说，它的"组成部分"是理性（Logistikón）、情绪（thymoeidés）和精力投入（epithymelikón）。动态的西方心理学设想心灵——空间，心理学上的力是相互作用的。

如果去掉施本格勒的形而上学和直觉方法，也不管有争议的细节，那么很难否认他关于范畴的文化相对性的概念基本上是正确的。只要回忆一下《伊利亚特》的第一篇就够了，它讲述了特洛伊战争中的英雄们把自己作为牺牲品奉献给猎狗和大鸟，这个"自己"本质是肉体或sōme*。把这个与笛卡儿的cogito ergo sum**作比较，阿波罗式的心理和浮士德式的心理的重大差别就很明显了。

德意志的历史哲学家关心少数的高级文化（Hochkulturen），这是现代的特点和优点，特别是美国的人类学考虑了全部的人类文化领域，包括原始人显示的多样性。所以，文化相对主义获得了广泛基础，但值得注意的是它所得出的结论与德意志哲学家非常相似。尤其是霍弗的论点基本上和施本格勒一致——一个以原始部落语言学为根据，另一个以少数高级文化历史概观为根据。

因此可以确认认识的范畴首先依赖于生物因素，其次依赖于

* 拉丁语，即肉体。——译注

** 拉丁语，即"我思故我在"。——译注

文化因素。下面将作更适当的阐述。

我们的知觉基本上取决于我们特殊的人类组织和心理组织。这是尤克斯屈尔的基本观点。语言的和一般的文化范畴不会改变感觉经验的潜力。然而它们会改变统觉，即经验实在的特征会被集中被强调，也会被冲洗。

这个论点没有什么神秘之处，或者说特别荒谬之处，相反，它是很平常的；也用不着那样狂热地为它作辩护，而这种狂热已经成了关于霍弗、施本格勒以及类似论点的争论中的一个特点了。请想象一下在显微镜下研究一个组织学标本，任何的观察者，只要他不是色盲，都会看到同样的图象即各种不同的形状和色彩等等，这是用组织学的着色法事先赋予的。然而，他实际上看到什么，也就是他的统觉是什么（以及他可能联想什么），则在很大程度上依赖于他是一个未受过训练的观察者还是受过训练的观察者。一个外行看一到的只是浑沌一片的形状和色彩，而组织学家则看到细胞和它们的各个组成部分，不同的细胞组织以及恶性肿瘤生长的征兆。即使是内行，也取决于他受训练的方向和他的兴趣所在。一个细胞化学家可能会注意到细胞质中的精细的粒化过程，据此他描绘出某种化学上确定的内含物。病理学家则可能完全忽视这些细节，而只"看到"肿瘤浸润器官的情况。因此，看到什么，依赖于我们的统觉，我们的兴趣所在和注意的方向，而这又取决于训练，即我们用以描述和概括现实的语言符号。

同样的对象如果用不同的观点来设想，就会成为十分不同的东西，这也是很平常的事实。同样一个桌子，对于物理学家来说，是电子、中子和质子的聚集物；对于化学家来说，是某些有机分子的合成物；对于生物学家来说，是木质细胞的复合体；对于艺术史家来说，是风格奇异的物体；对于经济学家来说，是有一定金钱价值的有用物；等等。所有这些透视都处于同等的地位，没有一个可以声称自己比别个具有更多的绝对价值（参见贝塔朗菲，1953 年 6

月）。换一个不大平常的例子来说。组织形式可以从不同的观点来考虑。类型学把它们看作不同的组织方案的表现；进化理论把它们看作历史过程的产物；动态形态学把它们看作过程和力的作用的表现，并从中探索数学定律（贝塔朗菲，1941 年）。这些观点中的每一个都是完全合法的，用这一个来反对另一个是没有什么意义的。

这些特殊例子中非常明显的东西也适用于我们的一般世界图景中所提及的实在的那些特性。科学发展的一个重要趋势就是“看到”过去所没有注意到的新的方面，即新的方面进入注意和统觉的焦点；反过来说，科学发展的一个重要障碍就是把某一理论概念作为一副“眼镜”，使人们不能认清本来是很明显的现象。这样一类的例子在科学历史上多得很。例如，片面的“细胞病理学”这副理论“眼镜”使人们完全没有看到生物体整体中存在的调节关系，而生物体整体不只是细胞的总和或细胞的聚集体；这种关系是希波克拉底*早已知道的，而且在现代的内分泌、体型等类的学科中巧妙地复兴了。现代的进化论者在偶然突变和选择理论的指导下，看不到生物体明显地不只是一堆遗传特征或基因偶然地凑合在一起。机械论的物理学家看不到如颜色、声音、味道等所谓二级质，因为装不进他的抽象图式中去；现代物理学表明，即使二级质正如质量、不可入性、运动等等想来是基本的“初级质”一样“真实”，它们的形而上学地位也同样是可疑的。

同样的情况可能有另一种阐述的方法，但强调的方面不同。知觉是全人类的、取决于人的心理资质。概念化是受文化约束的，因为它依赖于人们所用的符号系统。这些符号系统很大程度上取决于语言因素，所用的语言结构。技术语言，包括数学符号体系，归根结底，是日常语言上盛开的花朵，因而不会与日常语言无关。当然，这并不意味着数学的“内容”仅仅在某种文化内才是“真的”。它是

* 希波克拉底（Hippocrafes，公元前 460—公元前 375 年），古希腊医师。——译注

具有反复地进行假设——演绎性质的系统，因此任何理性生物只要接受它的前提就必定会同意它的所有推论。但是，那一方面或者说那一种透视被数学化则依赖于文化的来龙去脉。事情完全可能是这样的，不同的个人和不同的文化有不同的偏爱，选择某些方面而忽视另一些方面。因此，举例来说，希腊人关心的是几何问题，而西方数学则关心微积分，这是施本格勒所强调过的；因此，出现了非正统的数学领域，如拓扑学、群论、对策论等等，它们并不符合数学是一种"量的科学"这个流行概念；因此，物理学家个人有所偏爱，比如说，处理同样的现象，有"宏观的"经典热力学也有"微观的"分子统计力学，有矩阵力学也有波动力学。或者更一般地说，分析型的心理关心所谓"分子"解释，即把现象分解和还原为基元性的组分，而整体型的心理则关心"模式"解释，即关注支配现象整体的规律。用一个方面去反对另一方面，支持基元型方法忽视和否认明显的和最重大的特征，或支持整体型方法，否认基础的重要性和分析的必要性，已经给科学带来危害。

顺便提一下，语言和世界观之间的关系不是单向的关系，而是相互的关系，这个事实霍弗讲得不大清楚。语言结构看来决定从实在中抽象出哪些特征，因此思维范畴采取什么形式。另一方面，世界观决定和塑造语言。

从古典的拉丁语演化到中世纪的拉丁语，是一个很好的例子。哥特人*的世界观重新创造了古代语言，在词汇方面和语法方面都如此。经院学究们创造了一大批词，从西塞罗**语言的立场来看这些词是粗野不堪的东西（正如文艺复兴时期人道主义者在他们

---

* 哥特人(Goth)，古代日尔曼的一支，在三至五世纪侵入罗马帝国，形成哥特式文化。——译注

** 西塞罗(Cicero、公元前 106—公元前 43 年)，古罗马的雄辩家、政治家和哲学家。——译注

的复兴斗争中所深切感受到的);用来处理抽象方面的词与形体思维的古罗马意向无关,如 leonitas,quiddifas*,以及其他等等。同样,尽管可以看到语法规则表面上有些相似、但思维的方式和构思的方式有很大的变化。这也适用于修辞方面,如采用的韵脚与古典的音步有很大的不同。例如把 Diesirae** 庞大的诗篇与维吉尔*** 或贺拉斯**** 的一些诗节作比较,就明显地看出不仅不同的"世界感受"间存在着鸿沟,而且"世界感受"也决定语言。

透视论的观点

我们已经指出经验范畴和认识范畴的生物相对性和文化相对性,现在我们可以就另一方面指出这种相对性的局限,从而讨论在本章开头所说的第三个主题。

迄今,人们往往是在表明知识完全是约定俗成的和实用主义的性质的时候来阐述相对主义,而在内心情绪上又觉得它完全无用。然而,我们很快就可以看到,不能得出这样的结论。

讨论这个问题的适宜的出发点就是我们在前面已讨论过的尤克斯屈尔以他的 Umwettlehre(境界学说)来说明的人类知识的观点。他认为人类的经验世界和知识世界是生物体的无数境界之一,决不像海胆、苍蝇或狗的境界那样简单。即使是物理世界,从电子、原子直至星系,也仅仅是人类的产物,依赖于人种的心理组织。

然而,这样的概念看来是不正确的。这可以从经验和抽象思维

---

* leonitas,拉丁语,作为抽象名词是"勇猛"的意思,本文是"狮子"。quidditas,拉丁语,作为抽象名词是"本质"的意思,词根的本义是"物体"。——译注

** Dies irae:《愤怒》。——译注

*** 维吉尔(Virgil),古罗马诗人。——译注

**** 贺拉斯(Horace),古罗马诗人。——译注

的两个层次，或者说日常生活和科学两个层次来说明。

在直接经验的范围内，由有关人种的生物生理组织决定的知觉范畴，不可能是完全“错的”、完全碰巧的和完全任意的。相反，它们必定以某种方式和在某种程度上符合于“实在”——即使这是在形而上学的意义上说的。任何生物体，包括人在内，不仅仅是观看世界舞台的观众，从而可以自由地选取场景，而不管生物演化的变形，文化“精神”的变形以及语言的变形，诸如神的幻想，已经加在他的隐喻上。确切地说，他是反应者又是戏剧中的演员*。生物体必须根据它内在心理资质对外来的刺激作出反应。把什么东西作为刺激、信号以及尤克斯屈尔意义上的特征来拾取是有一个幅度的。可是，它的知觉必须使动物在这个世界中找到一条出路。经验的范畴，诸如空间、时间、本体、因果性等等不可能是完全骗人的。经验的范畴在生物进化中出现，而且在生存斗争中不断地证明自己。如果它们不符合实在，那么就不可能有适当的反应，这样生物体会很快地因选择而灭绝。

以拟人的语调来说：一群精神分裂症患者在共享他们的幻觉的时候可能彼此相处得很融洽；可是，他们完全没有能力对外界真实情况作出反应，也没有能力使自己适应外界真实情况，这恰恰就是为什么要把他们放在精神病院里的理由。用柏拉图的比喻来说：关在地窖中的囚犯看不见真实的事物而只看见影子；但是，如果他们不只是看看景象，而必须参与行动，那么影子必定以某种方式描写了真实事物。西方的古典哲学，从柏拉图到笛卡儿和康德，最严重的缺点看来是把人看作基本上是一个旁观者，看作 ens cogitans（反映者），而实际上，由于生物学上的原因，他本质上是个表演者，一个他所投身的世界中的 ens agens（动因）。

洛伦兹 1943 年令人信服地证明，经验的“先验”形式，作为本

* actor，既指演员，又指行动者。——译注

能行为的天生的先验图式，性质上基本相同，在这些形式的支配下，动物对同伴、配偶、子孙或双亲、捕食者或被捕食者，以及其他外界形势作出反应。这些形式建立在心理生理机制的基础上，例如空间的知觉就建立在双目的视力和视差、睫状体肌肉的收缩，显出逼近和退去的物体尺寸增大和缩小等基础上。直觉和范畴的“先验”形式是器官的功能，建立在感觉器官和神经系统的肉体结构甚至与机器类似的结构的基础上，这些器官是在几百万年的演化中进化和适应而来的。因此，它们确实以同样的方式和由于同样的原因，适合于“真实的”世界，就像马蹄适合于草原地形，鱼鳍适合于水。把人的经验形式设想为唯一可能的形式，认为对任何理性生物都有效，这是一种荒谬的拟人主义。另一方面，经验形式作为适应性器官，已在几百万年的生存斗争中得到证明，这个概念足够保证“现象”和“实在”的一致。任何感受到的刺激并不是有刺激存在，而是生物体对它作出反应，因而世界图景取决于心理物理组织。然而，当一个草履虫作出趋避反应的时候，人类观察者不管他的世界观是什么，也在显微镜下确确实实地看到一个障碍物。而且，完全有可能来指明，哪些经验迹象是符合于实在的，哪些不符合，比如在未作色差校正的显微镜视域中出现的彩色条纹。所以，派莱特(Pilate)的“什么是真理”的问题，可以这样来回答：动物和人类还在生存这个事实，已经证明了他们的经验形式在某种程度上符合于实在。

据此，就有可能来详细说明前面有意不严格的表述：经验一定“以某种方式”符合于“不论何种含义的实在”。这并不是说经验范畴充分地符合于真实的宇宙，更不必说完全地描绘了真实的宇宙。充其量只能说——这也是尤克斯屈尔的论点：选择了相当少的刺激作为引导信号。至于这些刺激的连接即经验范畴，不必反映真实事件的联系，但在一定的宽容度内必定与真实事件的联系是同型的。由于上面提到的生物学上的理由，经验不可能是完全“错误

的"和武断的;而有充分的理由说,经验世界和"真实"世界之间在一定程度上存在着同型性,从而经验可以指导生物体来保护生物体的生存。

还可以作这样的比喻:"红色"信号并不符合它所指示的各种各样危险,如过来的汽车、火车以及横穿马路步行者等等。然而,它足以指明这些危险,因而"红色"与"停止"同型,"绿色"与"通行"同型。

同样,知觉和经验范畴也不必反映"真实"世界;然而它们必定与"真实"世界同型到能够适应环境从而可以生存下去的程度。

这些推论出来的必要条件恰恰是我们实际上看到的。直觉和范畴的普遍形式,诸如空间、时间、物质和因果性等等,在"中等尺度"的世界中完全行得通,人类动物在生物学上适应了这个世界。在这个世界中,建立在这些直观范畴上的牛顿力学和经典物理学令人完全满意。然而,如果我们进人人类有机体不适应的世界,它们就不行了。比如说,原子尺度的世界或宇宙尺度的世界。

现在,让我们来讨论科学世界。尤克斯屈尔把物理世界只看作生物的无数境界中的一个,这个概念是不正确的,至少是不完全的。这里有一个引人注目的趋势在起作用,可以叫做科学的逐渐减少拟人化(贝塔朗菲,1937,1953 年 *b*)。减少拟人化的过程似乎发生在三个主要方向上。

科学的一个基本特征就是它逐渐地减少拟人化,这就是说,逐渐消除那些归结为特定人类经验的特性。物理学必然从眼、耳、热感等感觉经验开始,从而建立起诸如光学、声学、热学等领域,与感觉经验领域相一致。然而,这些领域很快就融合到与"直观"或"直觉"无关的领域中去了:光学和电学融合到电磁理论中去,力学和热学融合到统计热力学中去,等等。

这种演化与人造感觉器官的发明以及记录仪器代替人类观察者有联系,物理学尽管从日常经验开始,很快就借助于人造感觉器

官扩展经验世界而超出了日常经验的范围。因而，举例说，不再只看见380至760毫微米波长的可见光，而且揭露了全部波长的电磁辐射，从最短的宇宙射线直至波长几千米的无线电波。

因此，科学的一个功能就是扩展了观察面。要强调的是与机械论的观点不同，在这样的扩展中，我们并没有进入另一个形而上学领域。相反，日常经验中我们周围的事物，在显微镜中看到的细胞，在电子显微镜中观察到的大分子，根据威尔逊云雾室中的轨迹，通过还很间接和很复杂的方法"看见"的基本粒子，并不是各种不同程度的实在。迷信机械论的人才会认为，原子和分子(用《爱丽丝物理奇境漫游记》的话来说)要比苹果、石块、桌子"更真实"。物理学中的最终粒子并不是观察后面的形而上学实在，它们是我们通过采用合适的人造感觉器官而观察到的东西，是我们的天然器官观察到东西的一种扩展。

然而，这无论如何都要导致特定人类的心理物理组织所加予的经验局限性的消除，而且在这个意义上，导致世界图景拟人化的减少。

这一发展的第二方面可称为科学研究的趋同现象(参见：贝文克，1949年)。物理常数常常被看作只是最经济地描写自然的惯用手段。然而，研究的进步揭示出不同的图景。首先，自然常数，如热的机械当量和电子电荷的机械当量，随不同观察者的观察而变化很大。其次，随着技术上的改进，渐进地逼进一个"真正的"值，从而不断测定的常数只不过是改变已有值的小数点后面的位数。不仅如此，如洛西米特数*等一类的物理常数的建立，不是只有一种方法，而是大约有20种方法，而且彼此完全独立，因此不能把它们设想为仅仅是经济地描写现象的惯用方法；它们描绘实在的某一方

* 洛西米特数(Lochmidt's ,number)，即一立方米理想气体在标准温度和压强下的分子数。——译注

面，而与生物、理论、以及文化的倾向无关。从相互独立的各种途径去查证它的发现，实际上是自然科学的一种最重要的工作。

第二方面可能是逐渐减少拟人化的令人印象最深的方面。首先，所谓二级质不见了，也就是说，颜色、声音、气味、味道从物理世界图景中消失了，因为它们取决于所谓特有能力，即不同人的具体感觉。因此，在经典物理学的世界图景中，只留下质量、不可入性、广延性等初级质，它们被描绘成视觉、触觉、听觉经验的共同基础。其次，这些直觉形式和范畴也作为太富有人性的东西而被消除。即使经典物理学中的欧几里得空间和牛顿时间，如前面所提到的，也和直接经验的空间和时间不一致。它们已经是物理学的构想物。当然，现代物理学的理论结构更是如此。

因此，人类经验特有的东西逐渐被消除。最后只留下数学关系的系统。

若干年以前，对相对论和量子理论的一个很大的反对意见，就是它们愈来愈变得"不直观"，以至它们的构想不能用形象化的模型来描绘。然而，这恰恰证明，物理学系统从我们特有的人类感觉经验的束缚中分离出来，也象征着物理系统的完善形式——且不管它已经达到还是可能达到——不再属于人类的境界（尤克斯屈尔意义上的 Umwelt），而是普遍的约定。

从某种方面来讲，逐渐减少拟人化就像有人想拉着自己的辫子从泥潭中拔出来。然而这是可能的，因为符号系统有独特的性质。符号系统、算法（如数理学）从它一出现就为自已赢得生命力、它变成思维机器，只要输入专门的指令，机器就能自行运行，产生出人意料的结果，超过初始的论据量和给定的规则，因而是原先创造机器的人的有限的智能所不能预见的。在这个意义上说，机器棋手能够胜过它的制造者（阿希贝，1952 年），即自动化的符号系统超过输入的初始论据和指令。任何算法都有这种情况，不论是对何种程度的数学难点进行推导还是物理学的预测如未知的化学元素

或行星(参见贝塔朗菲,1956年)。渐减拟人化,即以自运行的算法系统代替直接经验,就是这种情况的一个方面。

因此,物理学的发展自然是依赖于它的创造者的心理物理结构,如果人看不见光线面看见了我们本来看不见的放射线或X射线,那么不仅人的境界而且物理学的发展就会是另一个样子。但是,就像我们借助于适当的仪器补充我们的感觉经验从而发现了X射线以至整个频谱的电磁辐射那样,具有完全不同的心理物理结构的生物也可以同样的方式做到同样的事情。假如天狼星的行星上存在智能生物或者说"天使",而且他们只能看到X射线,那么他们会用同样的方式发现那些对我们来说是可见光的波长。不仅如此,天狼星的天使们还可能用与我们十分不同的符号系统和理论来进行计算。然而,因为完善状态的物理学系统不再包含任何人性的东西,而且有关的事情在任何物理系统中都是对的,所以我们必定可以做出这样的结论:那些物理学,尽管它们的符号系统各不相同,都有同样的内容,也就是说,一种物理学的数学关系可以借助于合适的"词汇"和"语法"翻译成其他的物理学的数学关系。

这个推测并不是子虚乌有的,而是在一定程度可以在物理学的实际发展中看到。经典热力学和分子统计力学是不同的"语言",使用不同的抽象方法和数学符号系统,但是一个理论的陈述不难翻译为另一个。这还很有一点时代意义:热力学和现代的信息论明显地是相似的同型系统,复杂的"词汇"翻译工作正在进行。

如果在刚才指明的意义上,只能逼近的理想状态的物理学是绝对的,那么我们一定不要忘记一个多少有些对立的方面。我们在我们的理论系统中所抓住的实在的那些特征,在认识论的意义上是任意的,取决于生物的、文化的、可能还有语言的因素。

这里的含义也很平常。据说在爱斯基摩人的语言中,"雪"有30多个不同的名称,这无疑是因为精细地区分它对他们是很重要的,而我们却可以忽视这种区别。相反,我们把只有表面上区别的

机器叫做福特、卡迪拉克、庞蒂亚克* 等等。而爱斯基摩人看来几乎全部都一样。然而，同样的道理在非日常意义上也是对的，适用于思维的一般范畴。

事情完全可能是这样的：另一种结构的理性生物从实在选取了完全不同的特性和方面来建立理论系统，数学和物理的系统。可能是由印欧语系所决定的，我们主要关心可度量的质、可分的单元，等等。我们的物理学忽视所谓初级质**；在物理学系统中只有起码一点点，在生理光学中有某种抽象，如色圆式三角。同样，我们的思维方式明显地不适合处理整体和形式问题。所以要用最大力气，才能把与元素论大不相同的整体论的特性包括进来——尽管这些特性并不缺少"真实性"。要是我们面对形式问题，西方的思维方式使我们处于困难中——所以，这个方面（在生物学性质的事物中非常突出），使物理学非常窘迫。

不带有我们的生物上和语言上的拘束的生物，完全可能有十分不同的科学形式，十分不同的假设——推导系统的数学形式。数学"物理学"处理实在的这些方面比我们的物理学合适得多，

这对数理逻辑来说也同样是对的。迄今，它只覆盖我们能够很容易地用行话或数学语言来表达的东西的比较小的一部分。亚里士多德的逻辑学，几千年来被看作推理的一般规律和至上的规律，实际上也只覆盖极小的范围即主语——谓语关系。传统逻辑的全有或者全无这个概念不符合作为数学分析的基础的连续概念（参见：诺伊曼，1951 年）。只有在很小的一个范围内可能进行演绎推理，而这还是现代逻辑学家费了很大的力气使其公理化之后才达到的。

可以这样说，我们的逻辑结构基本上是由我们的中枢神经系

---

* Ford，Cadillacs，Pontiac，都是美国生产的汽车的牌子。——译注

** 原文如此。应为"二级质"。——译注

统结构所决定的。后者基本上是一台数学计算机,因为神经元是根据全有或全无的生理规律用是或否的方式来作决定的。与此相应的是我们以对立方式思维的赫拉克利特原理,我们的是或否的二值逻辑,布尔代数,以及二进数学系统,实用上更方便的十进制可以折合为二进制(实际现代计算机已经做到)。假如神经系统并不是根据数学型计算机而是根据类比计算机(例如像计算尺那样)构成的,那么就可以想像会出现一种与我们的是或否逻辑大不相同的连续性逻辑。

这样,我们就得出一种观点,可以称作透视论(参见:贝塔朗菲,1953年b)。"还原论"认为,所有可能的科学和实在的所有方面最后应归结为一种理论即物理学理论。与此大不相同,我们采取比较不过分的观点。物理学系统在我们已说明的意义上,是任何理性生物的一种约定;这就是说,它通过减少拟人化的过程达到对实在的某些有关方面进行描述。它基本上是一种适宜于这个目标的符号算法系统。然而,选择什么符号系统来使用因而选择实在的那些方面来进行描述,依赖于生物的和文化的因素。物理学系统并不是独一无二的,也并不是神圣不可侵犯的。在我们自己的科学范围内,其他的符号系统,诸如分类学的符号系统、遗传学的符号系统和艺术史的符号系统,也都具有同等的合法地位;尽管它们远远不具有同样程度的精密性。而处于别的文化中的人类和在非人类的智能中,可能有根本不同类型的"科学",这种科学描绘实在的别的一些方面,同我们描绘的所谓科学的世界图景一样好;甚至比我们的更好一些。

为什么我们的精神对宇宙的描绘总是只反映实在的某些方面或某些透视,这或许有潜在的原因。至少在西方语言中也可能在所有人类的语言中,我们基本上是用对立的思想方法来进行思维的。就如赫拉克利特说过的那样,我们是按照热和冷、黑和白、白天和黑夜、活和死、存在和变化这样的措词来进行思维的。这些都是朴

素的阐述。但是，看来物理学的构思也是这样对立的，而正由于这个原因这种构思不适合于考察实在，考虑理论物理学公式中表达的实在的某些关系。为一般人所接受的运动和静止之间的对立，在相对论中就没有意义。质量和能量的对立被考虑了它们相互转化关系的爱因斯坦守恒定律所代替。粒子和波两者都是合法的，而且是物质实在互相补充的两个方面，在一定的现象和方面用一种方式来描写物质实在，在另一些现象和方面用第二种方式来描写。结构和过程的对立在原子以及生命有机体中被消除；生命有机体的结构同时又表现可持续的物质流和能量流的承担者。肉体和精神这个老问题或许也是这样的性质的问题，它们的差别被错误地认为是实存的，其实它们是同一实在的不同方面。

我们的所有知识，即使减少拟人化，也只反映实在的某些方面。如果上面的说法是正确的，那么实在就是库萨的尼古拉所说的对立面的一致(参见：贝塔朗菲，1928 年 *b*)。推理的思维总是只描绘最高实在(在库萨的术语中叫上帝)的一个方面，永远不能穷尽它的无限多样性。因此，最高实在是对立面的统一体，任何只从某一观点来掌握的陈述只有相对的正确性，必须以相反的观点来掌握的对立陈述作补充。

总之，我们的经验范畴和思维范畴看来是由生物的以及文化的因素所决定的。第二，在我们的世界图景逐渐减少拟人化的过程中，解除人性的束缚。第三，即使通过减少拟人化的过程，知识也只是反映实在的某些方面或某个方面。第四，还是用库萨的话来说：ex omnibus partibvs relvcet totum，即每一个这样的方面都有真理性，尽管只是相对的。看来，这就指明了人类知识的局限性，也同样指明了人类知识的尊严。

附录 I　关于数学系统论发展的笔记(1971)

近几年来，数学系统论已由方案变成事实；数学系统论已经成为范围宽广和发展很快的领域。这在一方面应归功于“系统”本身和有关学科理论问题上的发展，另一方面应归功于控制和通讯技术问题上的发展。

这里不打算系统地论述和全面地回顾数学系统论的发展，下述要点可能使读者对各种不同的方法以及它们是怎样结合在一起的问题有一个比较直观的理解。

人们普遍同意，系统是一般性质的模型，即被观察到的实体的某些相当普遍的特性在概念上的类比。使用模型或类比构思是科学(乃至日常认识)的一般方法，也是计算机类比模拟的原理。“系统”与常规科学没有本质上的区别，只是在一般性(或抽象)程度上有所不同，“系统”所涉及的是通常由各种不同学科处理的各种各样实体所共有的非常一般的特征。因此，一般系统论具有跨学科的性质；同时，它的陈述具有形式的或结构的公有性，这种公有性是从各门学科(以及其中的解释)都涉及的“系统状态下要素和力的性质”中抽象出来的。换句话说，因为涉及这样的一般结构，所以系统理论上的论证具有预见的价值。这种“原则上的解释”具有巨大的预见价值；要作特殊解释，自然要求引入特殊的系统条件。

前面已经讨论过，“系统”与科学思维中占统治地位的元素论的方法和概念相比，是一个新“范式”。因此，数学系统论的发展有过多种各样的途径，其重点、兴趣的焦点以及数学方法各不相同，这是不足为奇的。而且，这些方法各从不同的方面阐明系统这个术语所包含的性质和原理，并为不同的理论目的和实用目的服务。因此，不同的作者对“系统理论”的看法很不一样，这一事实并不是一种窘境也不是混乱的结果，而是一个新的和成长中的领域的健康

发展，还可能指明了问题必要的和相互补充的各个方面。存在不同的描述并没有什么特异之处，而是数学和科学经常遇到的情况，如曲线的几何描述或分析描述，经典热力学和统计力学的等价性，波动力学和粒子物理学的等价性都是如此。然而，不同的以至部分对立的方法应该趋向进一步的综合，即一种方法是另一种方法中的特例，或者说能够证明它们是等价的或相互补充的。事实上，系统理论中这样的发展正在进行。

系统可以定义为处于自身相互关系中以及与环境的相互关系中的要素集合。这可以用不同的方式作数学上的表述。可以指出系统描述的几种典型方式。

一种或一组研究方法可以不太严密地定义为公理方法，其兴趣焦点在于系统的严格定义和用现代的数学方法和逻辑方法进行推导，以及它的结论。其他的系统描述方法举例来说有米萨罗维克(Mesarovic，1961 年)、麦西亚(1966 年)、比伊尔和劳埃(1971 年；集合论)、阿希贝(1958 年，“状态决定系统或状态决定机”)、克勒(1969 年)(UC－要素间以及要素与环境间所有的耦合集；ST＝所有状态和状态间所有转化的集合)，等等。

动态系统论涉及系统随时间的变化。有两种主要的描述方式，即内部描述和外部描述。(参阅罗森，1971 年)。

内部描述或“经典”系统论(罗森，1970 年)，用一组叫做状态变量的 n 个量值来定义系统。分析起来，系统随时间的变化可典型地表示为一组 n 元联立一阶微分方程(公式 3.1)，称作动态方程或系统运动方程。系统的行为用微分方程的理论来描述(如接受公式 3.1 的系统定义，则通常是一阶的)，这是数学中大家熟知的和高度发展的领域。然而，如前面已提到过，这个系统见解提出十分困难的问题。从而，例如稳定性理论只是在晚近与控制(及系统)问题连结起来才有所发展：里亚普诺夫函数(Liapunov functionc)在 1892 年就有了(俄国，在法国是 1907 年)，但是到了现在，特别是

经过苏联数学家的工作，才认识它的意义。

从几何上来看，系统的变化可表示为穿过状态空间的状态变量的轨迹，即 n 维空间中状态变量的可能位置。

可能有三种行为类型，定义如下：

(1) 有一条叫做渐近线稳定的轨迹，如所有的轨迹在 $t = t_0$ 时足够地靠近它，而在 $t \to \infty$ 时渐近地逼近它。

(2) 有一条叫做中性稳定的轨迹，如 $t = 0$ 时所有轨迹足够地靠近它，在以后的所有时间中还靠近它，但并不必然地渐近地逼近它。

(3) 有一条叫做不稳定的轨迹，如 $t = 0$ 时所有轨迹靠近它，但 $t \to \infty$ 时不再靠近它。

这三种情况各自对应于接近不依赖于时间的状态（平衡、稳态）的解，周期解和发散解。

不依于时间的状态：

$$f_1(Q_1, Q_2 \cdots Q_n) = 0$$

可以看作一条轨迹衰减为一个点。那么，在二维投影上就易于想像了，那些轨迹可能收敛到表现为平衡点的稳定节点上，可能由阻尼振荡而逼近稳定焦点，或由非阻尼振荡而绕这一点转圈，要不然就从不稳定节点发散，以振荡的方式离开不稳定焦点，或离开鞍点（不稳定解）。

动态理论的中心概念是稳定性概念，即系统对微扰动的反应。稳定性概念起源于力学（刚体处于稳定的平衡态如在足够小的位移后回到原始位置；运动是稳定的如对小的扰动不敏感），而推广到系统状态变量的“运动”。这个问题与平衡态的存在问题有关。因此，稳定性可以用描述系统的微分方程 3.1 的精确解来进行分析（所谓间接方法、基本上根据系统方程的特征值 λ_i 来进行讨论）。在非线性系统的情况下，这些方程必须用展开为泰勒级数并保留第一项的办法来使其变为线性的。然而，线性化只与平衡点附近的稳

定性有关系。但是，在没有微分方程的实在解（直接方法）和非线性系统的情况下，可采用所谓里亚普诺夫函数，它本质上是一般化的能函数，它的符号指示平衡是否渐近于稳定（参阅：拉萨勒 La Salle 和莱弗谢兹 Lefsehetz，1961 年；哈恩，1968 年）。

在这点上动态系统论和控制理论的关系是明显的：控制的本质就是把控制者插入系统，抵消系统离开稳态的运动，使本来并不逼近稳态的系统逼近稳态。因此，内部描述的稳定性理论或动态理论与外部描述的（线性）控制系统或反馈系统理论汇合了（参阅施沃兹，1969 年）。

常微分方程的描述抽掉了状态变量在空间的变化，否则就要用偏微分方程来表示。然而这些（场方程）更难掌握。克服这个困难的办法是假定完全"扰拌"因而在该体积内扰动是同型的；或者假定同型扰动适用的区间，以及由适当的相互作用把区间连结起来（区隔论）。

在外部描述中，把系统看作"黑箱"；它和环境及其他系统的关系，可图解表示于方框图和流程图中。用输入和输出的术语来描述系统，它的一般形式是关于输入和输出的传递函数。在典型的例子中，这些函数假定为线性的，而以离散的数量集来描绘（参考信息论、图灵机的是—否决策）。这是控制技术的语言；应用维纳的控制论定义。典型的外部描述是根据通讯（系统与环境之间以及系统内信息的交换）和系统对外部环境的功能（反馈）来描述的。

如上所述，内部描述和外部描述在很大程度上是与连续函数描述和离散函数描述相吻合的。这是适应于它们各自目的是两种"语言"。从实际上说，如正文所强调的，由动态系统内各个力之间自由作用形成的调节，与由结构反馈机制所强加的约束形成的调节，有着明显的差别。然而，从形式上说，这两种"语言"是相联系的，而且在一定的情况下可证明能互相翻译的。例如，输入—输出函数（在一定的条件下）可展开为 n 阶线性微分方程，而后者在形

式上可看作"状态变量";它们的物理意义还不能确定,而从一种语言到另一种语言形式上的"翻译"则是可能的。

在某些情况下,例如神经兴奋的二因素理论(用兴奋和拟制因素或"本体"来表示)和网络理论(麦克卡洛"神经元"网络),动态系统论以连续函数描述与自动化理论用数字类比来描述可以证明等价的(罗森,1967 年)。同样,捕食者—被捕食者系统通常用沃尔特拉方程作动态描述,也可以用控制论反馈循环的术语来表达(威尔伯特 Wilbert,1970 年)。这些是二变量系统。多变量系统能否实现"翻译"(作者的意思是)还要看一看。

内部描述本质上是"结构的",力图以状态变量和它们的相互依赖来描写系统的行为。外部描述是"功能的",以系统与环境的相互作用来描写系统的行为。

因此,这个简单的概述表明,自大概 25 年前宣告和倡导这个方案以来,数学系统论已经取得巨大的进步,引出各种各样的方法,然而彼此都是有联系的。

数学系统论是一个快速成长的领域,但是基本问题例如层次问题现在才在慢慢地探讨而且大概还需要新型的思想和理论,这是很自然的。我们曾说过,一般系统论最后是一种"整体的逻辑数学的科学"而且它的严格的展开是"技术性的"=数学的描述和模型,但"词语"的描述和模型也不可牺牲。问题在能够数学上形式化之前必须直觉地"看见"和认识。此外,数学形式主义可能对揭示很"真实的"问题有所妨碍。

附录Ⅱ 科学的意义和科学的统一*

今天我们正遭受普遍的危机,在这样的时代,出现了自然科学

* 对 1947 年在维也纳大学所作的一个讲演的评论。

的意义和目的问题。经常听到这样的指责：科学应对我们时代的苦难负责；据信人们在很大程度上已经成为机器和技术的奴隶，而且最终被驱入世界战争的大屠杀中去。我们没有多大力量去影响历史的进程；我们可以做出的唯一抉择就是去认识它还是让它横行无阻。

著名学者、教授路得维希·冯·贝塔朗菲博士在FÖST(自由奥地利大学生协会)主办的一系列科学讲座中的法医学分部上对众多的听众作了讲演。他讲了当前极为重要的问题，即关于人在自然中的特殊地位问题。

动物有一个取决于它本身组织的“境界”，人与其它动物不同，他创造他的世界，即我们把它叫做人类文化的世界。在人类文化进化的先决条件中有两个因素，即语言和概念的形成，两者彼此紧密相关。“语言”作为呼吁或命令，在动物界中就已经可以观察到；例如，鸟类的歌唱，高山羚羊的警告性的嘶叫等等。然而，语言作为事实的描绘和交流，则是人所独有的。语言从这个词的广义上说，不仅包括口头语言，而且还包括书面语言和数学符号系统。这些并不是遗传的系统，而是自由创造的和传统的符号系统。首先，这说明了人类历史的特性与生物进化大不相同；“传统”与漫长时间中发生的遗传突变大不相同。其次，精神试验法即用概念符号来进行的试验法，代替了作为动物行为的明显特征的物质试错法。因此。真正的目的指向性成为可能。目的指向性和借喻意义上的目的论——即有机整体为维持自己而对偶然事件的调节，有机整体的生产和再生产，是生命的判据。然而，真正的目的性指的是了解他们的目的和将来的后果而进行的动作；将来目的的概念已经存在于和影响到现在的动作。这适用于日常生活的基本动作，也适用于科学技术中人类智能的最高成就。面且人所创造符号世界似乎获得了自己的生命；它变得比它的创造者更聪明。例如，体现在庞大的思维机器中的数学符号系统，如馈入语句和程序，就会在一系列相

互联系的符号的确定过程的基础上作出解答，这在过去是不敢奢望的。然而，在另一方面，这个符号世界变成一种导致身心方面严重失调的力量。如果符号世界——它在人类社会中是在道德价值和社会约定中形成的——和生物驱力（它与文化环境不相称）之间发生冲突，那人就处于易患精神病的境地。符号世界作为一种社会力量，使得人具有人性，同时也造成血腥的历史过程。与生物体的朴素的生存斗争不同，人类历史在很大程度上受着意识形状斗争即符号系统的斗争的支配。愈是掩饰他们的原始本能就愈危险。我们不能取消事情的经过，这是我们叫做“人”的那个东西所造成的；然而，人运用他的预见力量来提高他的价值还是去毁灭自己，这就是人的责任。在这个意义上说，科学的世界概念采取什么路线的问题，同时也是人类的命运问题。

对科学发展的综合研究揭示了一个新奇的现象。科学的不同领域开始各自独立地形成相似的一般原理。因此，讲演者特别强调了组织整体和动态等方面，并且简述了它们对不同学科的影响。在物理学中，这些概念是现代物理学不同于经典物理学的特征。在生物学中，讲演者以他所描述的“机体论概念”来强调它们。在药物学、心理学（格式塔心理学、分层理论）和现代哲学中都可找到相似的概念。

这展现了巨大的远景，迄今还不知道的统一世界观的前景。一般原理的统一怎样出现？贝塔朗菲对这个问题的回答是需要一个他称为“一般系统论”的科学新领域，而他试图找到它。这是一个逻辑—数学领域，它的任务是用公式来阐述和推导出能一般地用于“系统”的一般原理。从而就有可能精确地阐明整体和总和、分化、渐进机构化、中心化、层次、果决性和异因同果性等术语，这些名词术语发生于所有处理系统的学科并隐含着逻辑上的同型性。

上世纪的机械论世界观与机器、生物是机器的理论观点以及人本身的机械化等占了支配地位紧密相关。然而，与现代科学发展

相一致的概念在生命本身中存着最明显的范本。因此，可以期望科学的新世界概念是人类文化向一个新阶段发展的表现。